



TITLE:

心土の機械的破碎に関する研究(  
Dissertation\_全文)

AUTHOR(S):

三竿, 善明

---

CITATION:

三竿, 善明. 心土の機械的破碎に関する研究. 京都大学, 1993, 博士(農学)

ISSUE DATE:

1993-01-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3064813>

RIGHT:

# 心土の機械的破碎に関する研究

三 竿 善 明

## 目 次

第 1 章	緒 論	-----	1
第 2 章	試作チゼル付きロータリ心土 破砕機によるほ場性能	-----	3
第 1 節	試作チゼル付きロータリ心土破砕機の構造	-----	3
第 2 節	ほ場性能実験	-----	5
第 3 節	試作機の心土破砕抵抗ならびに ロータリ破砕トルク	-----	7
第 4 節	ほ場性能実験結果	-----	9
第 5 節	本章のまとめ	-----	16
第 3 章	試作チゼル付きロータリ心土破砕機の動力特性	-----	17
第 1 節	心土破砕動力計測システム	-----	17
第 2 節	チゼル破砕深さとチゼルの心土破砕抵抗	-----	20
第 3 節	ロータリ破砕深さとロータリ破砕トルク	-----	23
第 4 節	ロータリ破砕深さとロータリ破砕所要動力	-----	27
第 5 節	ロータリ破砕ピッチとロータリ破砕諸特性	-----	29

第 6 節	チゼルの心土破碎抵抗とロータリ破碎諸特性	31
第 7 節	チゼルの心土破碎所要動力と 試作機全体の心土破碎所要動力	33
第 8 節	本章のまとめ	35
第 4 章	ロータリ部とチゼル部の相互作用	36
第 1 節	はじめに	36
第 2 節	実験装置と実験方法	36
第 3 節	実験結果および考察	37
第 4 章	本章のまとめ	45
第 5 章	チゼルとロータリの配列位置	46
第 1 節	はじめに	46
第 2 節	実験装置と実験方法	46
第 3 節	チゼルの土壌破碎抵抗	48
第 4 節	ロータリ破碎トルク	51
第 5 節	ロータリ破碎所要動力	54
第 6 節	試作チゼル付きロータリ心土 破碎機の全所要動力	55

第 7 節	本章のまとめ	57
第 6 章	シリンダインテークレート試験による 試作機の利用効果	58
第 1 節	シリンダインテークレート試験	58
第 2 節	試作チゼル付きロータリ心土破碎機による心土破碎地の 給水開始後の経過時間と積算浸入量の変化	61
第 3 節	心土破碎位置からの距離と給水開始後の 経過時間と積算浸入量の関係	65
第 4 節	心土破碎位置からの距離と給水開始後の 経過時間と積算浸入量の経日変化	66
第 5 節	心土破碎断面積と 20 分間の 積算浸入量の経日変化	68
第 6 節	心土破碎深さと 20 分間の積算浸入量との関係	69
第 7 節	本章のまとめ	70
第 7 章	ビール麦の生育および収量調査による 試作機の利用効果	71
第 1 節	ビール麦の生育および収量調査	71
第 2 節	異なる心土破碎作業によるビール麦の生育	73
第 3 節	ビール麦の収穫時の草丈、地上部生体質量 ならびに地上部乾燥質量	75



第4節	ビール麦の収量構成	79
第5節	ビール麦の根群調査	80
第6節	心土破碎機の破碎深さがビール麦の 生育におよぼす影響	82
第7節	心土破碎断面積がビール麦の生育におよぼす影響	83
第8節	本章のまとめ	85
第8章	総括	86
	参考文献	90

## 第1章 緒 論

1960年頃から、大型トラクタの踏圧が問題となり、踏圧と作物生育との関係が論じられてきた<sup>1)~5)</sup>。しかしながら、トラクタ、コンバインなどの大型化がその当時より進んでいるにもかかわらず、土壌の物理性を改善するための簡便な機械の開発が順調に進んでいるとは言い難い。そして、ほ場の基盤整備が進むにつれ、大型機械がほ場内で使用される頻度が増加し、さらにはほ場の心土部が硬く密になる傾向にある。また、長年にわたるロータリ耕うんにより、ほ場を深耕する機会が減少し、作土直下の硬化層の固定化が起こっている。このため、ほ場内の土壌の物理性が劣化し、作物へ悪影響を及ぼしつつあるとの報告がある<sup>6)</sup>。

米の生産過剰を解消するため、畑地転換事業が進められているが、農地集団化のための条件が整備されないため、大型機であるトレンチャやドレーナおよびバックホー等の導入が遅れ、あるいは不可能となっていて、この事業が遅れがちとなっている<sup>7)</sup>。そこで、農地の集団化が未整備でも、個別農家で購入可能な小型で安価な心土改良機械があれば、畑地転換事業が進むものと考えられる。実効ある心土破碎法の早急な確立が望まれるゆえんである<sup>7,8)</sup>。

本研究では、作土直下の硬化層である心土を破碎し、そして土壌の物理性を改善する簡便な心土破碎機の開発を目的としている。

耕土改善用の機械として、種々の機械<sup>9)</sup>が開発されているが、本研究は構造が簡単で浅層心土の破碎と深層心土の破碎の両用が可能で、かつ低い動力で駆動できるチゼル形サブソイラ付きロータリ心土破碎機を試作し、その動力特性ならびに性能、利用効果について検討を行うものである<sup>10)~18)</sup>。本研究のチゼル形サブソイラ付きロータリ心土破碎機は、ロータリ耕うんだけでなく、ロータリの前方にロータリより深く心土を破碎するが、その破碎範囲が狭いチゼル形サブソイラを配置した構造を持たせた。そして、このロータリにより表土のみではなく心土をもを破碎できるようにした。このため、本試作機はチゼル形サブソイラ単体の場合より幅広く心土を破碎することができるとともに、チゼル形サブソイラ単体をけん引する場合に利用されていないトラクタのP.T.O.軸出力を有効に利用できるなどの利点を持つ。なお、チゼル形サブソイラは、本論文ではチゼルと呼び、本研究の試作チゼル付きロータリ心土破碎機を試作機と略称する。



従来のチゼルについて、土壌の硬度と作物の生育を中心とした利用効果についての研究<sup>19)~28)</sup>やチゼルの形状とその抵抗<sup>29), 30)</sup>さらに各種耕うん機具の比較検討<sup>31)~35)</sup>など多くの研究が見られ、また、破碎抵抗軽減のため振動を与えること<sup>36)~39)</sup>も古くから行われ、実用化されているが、往復運動部分の慣性力や、土の抵抗による不釣り合いのため作業機とトラクタに激しい振動を生じ、作業者を不快にし、更には作業停止となる場合も生ずるなどの問題のあることが指摘されている<sup>39)</sup>。狭幅耕うん機具に対しての理論的取り組みも多い<sup>40)~47)</sup>が、全てが解明された訳でなく、今後も精力的に研究される課題であろう。

わが国での耕うんは、ロータリによる場合が多く、極めて多くの研究があり、多くの工夫がなされている。しかし、そのほとんどが表土(耕土)を対象とし、心土にもその作用を及ぼすロータリ耕うんの研究は寡聞にして知らない。また、けん引刃とロータリ耕を組合せた複合耕うんの研究<sup>48)~51)</sup>もあるが、これは心土破碎を目的としたものではなく、けん引刃によるロータリ部での土壌破碎動力軽減が目的であり、本研究と目的が多少異なる。

本試作機は、広く普及している15 kW程度のトラクタでも作業が可能で、しかも従来けん引式耕盤破碎機では利用されていないトラクタのP.T.O.軸の回転動力を有効に用いてロータリを駆動し、チゼルのみならず、ロータリによっても心土を能率的に破碎できることを目的として開発したものである<sup>52)~58)</sup>。

本研究は、次の8章から構成されている。

第1章では、緒論ならびに本論文の構成について述べ、第2章では、試作機の製作と試作機による心土破碎特性<sup>52), 53)</sup>を、ほ場性能の見地から述べた。第3章では、試作機による心土破碎時の動力特性<sup>54)</sup>を、チゼルの心土破碎抵抗とロータリ破碎トルクについての述べた。第4章では、ロータリ部のチゼル部の相互作用<sup>55)</sup>について、それぞれ単体に対しての結果と試作機での結果を比較し検討した。第5章では、チゼルとロータリの配列位置を変化させた時の結果<sup>56)</sup>について述べた。第6章では、心土破碎の意義とインテクレート試験<sup>57)</sup>について、第7章では、ビール麦の生育調査<sup>58)</sup>を行い、試作機の有効性について述べた。第8章では、本論文を総括した。

本研究を進めるにあたり、京都大学農学部並河清教授に御懇篤なるご指導とご助言を賜りました。また、校閲いただきました京都大学農学部山崎稔教授ならびに池田善郎教授には有益な御助言を賜りました。ここに記して深甚の謝意を表します。

## 第2章 試作チゼル付きロータリ心土破碎機によるほ場性能<sup>18), 53)</sup>

### 第1節 試作チゼル付きロータリ心土破碎機の構造

本研究では、個別農家が所有してもそれほど大きな負担とならない簡便で能率的な土壌改良機械の開発に関する研究で、開発機は従来の心土破碎機のチゼルとロータリとを組み合わせた心土破碎機とした。これは、P.T.O.軸から取り出した回転駆動力でロータリを駆動すると同時に、トラクタのけん引力に加えてロータリで発生する前進力によってチゼルをけん引するものであり、P.T.O.軸から取り出した回転駆動力は傘歯車、チェーンスプロケットなどによって伝達されて、ロータリを駆動する。トラクタによりけん引されて土壌を破碎するチゼルはチェーンケース前部に取り付け、ロータリの駆動抵抗を減少させ、しかもロータリ全体を土中深く案内する役目を果たす。チェーンケース前部にチゼルを装着させた理由は、これを後部にするとチェーンケース部が破碎されていない心土に衝突し、大きな抵抗となることが予想できるからである。作業機のメインフレーム最後部に耕深調節輪を装着させ、作業機の破碎深さを一定に保つと同時に作業機を使用しない時に作業機を支える役目を果たさせた。

本試作チゼル付きロータリ心土破碎機の利点として次のことが挙げられる。

- ①ロータリを小型化し、チェーンケース下部に取り付けたため、低動力で深耕(0.2 ~ 0.4 m)が可能となる。
- ②けん引作業によって碎土するチゼルとロータリを組合せたためトラクタ出力を有効に利用できる。現在、けん引作業におけるトラクタはそのほとんどが搭載機関馬力を有効に使用していない。その時の効率は土とタイヤによって支配されるが、おおよそ50 ~ 60 %と言われている。本試作機は有効に利用されていない動力をロータリの駆動作業に振り向け、トラクタ自体の効率を向上させるという効果を持つ。
- ③ロータリの回転に伴い生ずる前進力がけん引力を増加させる。
- ④土中でのロータリの回転により心土を破碎すると同時に深耕を行い、一般的に圧密状態にある耕土を膨軟にするため劣悪化した土壌物理性を改善するという効果をも有する。そして、このためそれまで心土の硬化層によって制限されていた作物根の生育域を増加することができる。
- ⑤さらに、チゼルとロータリの破碎深さの違いにより作業後の土壌断面下部



⑥ チゼルの後に配置したロータリを小径広幅としたので、チゼル単体に比較して破碎幅が大きくなり、チゼル単体での心土破碎よりより高能率となる。

試作したチゼル付きロータリ心土破碎機の概要を図2-1に示す。試作機は、心土破碎用チゼル部と表土および心土破碎用ロータリ耕うん部とから成り、トラクタの三点リンクヒッチに装着させる方式とした。表土および心土破碎兼用ロータリ耕うん部は、トラクタのP.T.O.軸の回転力により駆動させた。その動力伝達機構は、ユニバーサルジョイント、中間軸、チェーンスプロケットから成る。中間軸において1/2の減速と回転方向の変換を行うとともに、ロータリトルクと軸回転数を計測した。ロータリ耕うん部をセンタードライブ方式としたので、左右のロータリ軸には各々2本のロータリ破碎爪(2)を取り付けた。ロータリ破碎爪の回転方向は、破碎動力軽減のためダウンカット方式とした。また、ロータリ耕うん部を土中に円滑に案内させるため、チゼル(1)をロータリ耕うん部の前部に配置した。

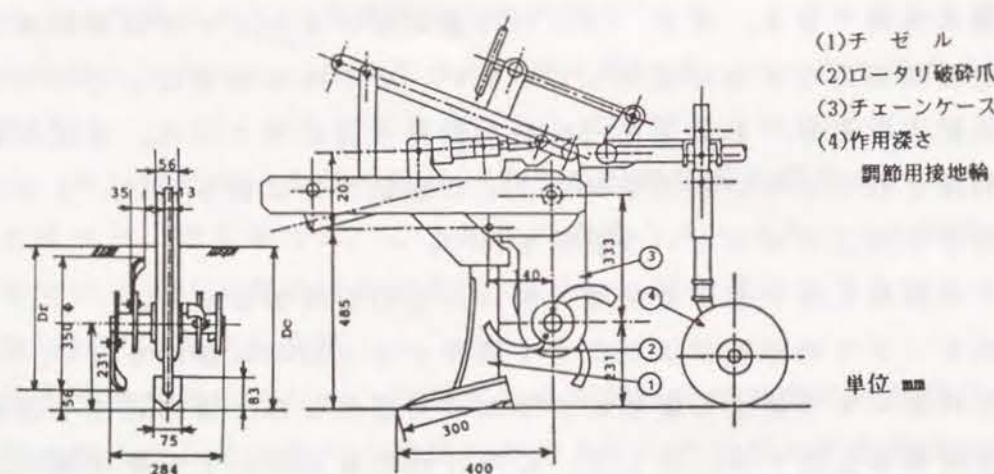
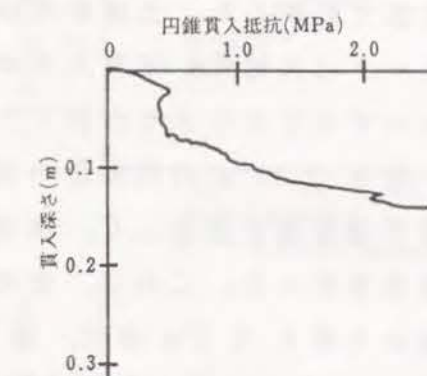


図 2-1 チゼル付きロータリ心土破碎機の概要

なお、供試場所は本学付属農場で、その土質は砂質ロームである。心土破碎作業時の土壌硬度線図を図2-2に示す。同図内に含水比ならびに湿潤密度を提示した。同図より深さ0.15 m付近に硬化層が認められる。よって、深さ0.2 m付近の平均含水比は、表面のそれより大きく、それにもない湿潤密度も高くなっていた。



供試は場条件

深さ (m)	含 水 比 (%)	湿 潤 密 度 (kg/m <sup>3</sup> )
0.0	27.6	1047
0.2	30.7	1191
土性	砂質ローム	鳥取大学付属農場

圖 2-2 土壤硬度線圖

## 第2節 ほ場性能実験

まず、ロータリ軸回転速度 N1 速 ~ N4 速 (207, 267, 385, 483 rpm), ト  
ラクタ前進速度 V1 速 (全平均 0.38 m/s) で心土の破碎実験を行い、実験後の  
土壌の破碎表面形状と土壌硬度を調査した。実験は、チゼル幅 0.075 m のチゼ  
ルとロータリ破碎爪として回転半径 0.175 m のなた爪 4 本を用いた。ロータリ  
破碎爪およびチゼルとそれらの水平配列位置を図 2-3 に示す。ロータリ破碎  
爪は、ロータリ同期配列なしで、位相角 90° 毎に 1 本づつ 4 本をロータリ軸に



装着した。なお、ロータリ軸は円形フランジが2個取り付けられており、円形フランジには4ヶ爪取り付けホルダーが装備されている。

耕うん前の土壌の表面形状は、試作機通過位置で走行方向に対し直角に金属製基準棒を置き、通過位置の中心を基準として0.05 m毎に土壌の表面までの高さを実測した。耕うん後の土壌の表面形状は、耕うん後の破碎表面形状を破壊しないように、耕うん前の土壌の表面形状実測と同様の方法で計測した。非破碎面形状は、破碎され膨軟になった土壌を手作業で排除した後、耕うん前と同様の方法で計測した。土壌硬度は、破碎中心から左右に0.1 m毎にコーンペネトロメータ（大起式）を貫入させて計測し、計測結果より等しい硬度の深さをプロットすることにより作図した。また、碎土性能での土壌の採取は、内径0.195 m 高さ0.20 mの円筒形の採土器を用いた。そして篩別法により、各篩上の残留土塊重量を測定した。供試機使用による土壌変位の測定には、チョーク片埋設法を用いた。これは、色の異なったチョーク片（長さ約0.01 m）を土壌表面から深さ0.3 mまで、耕うん方向と直角に0.3 mの幅で、縦横とも0.05 m毎に埋設し、心土破碎実験後に移動した距離を計測するものである。

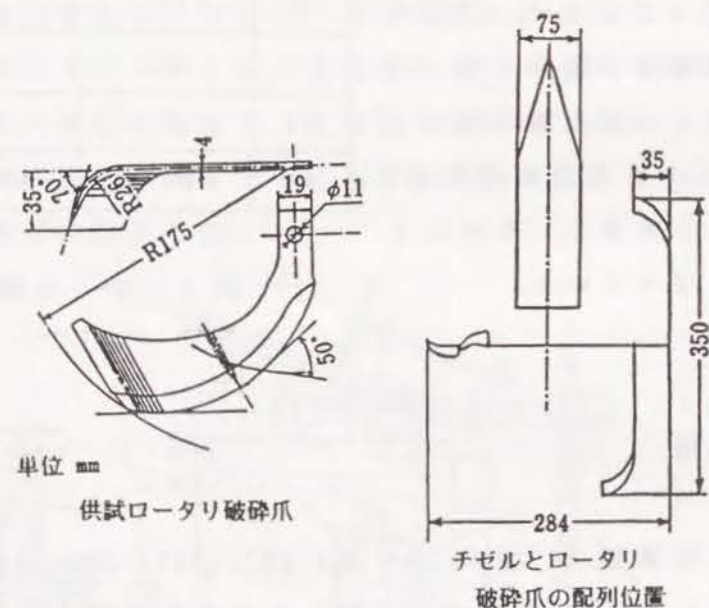


図2-3 供試ロータリ破碎爪およびチゼルとロータリ破碎爪の配列位置（平面図）

### 第3節 試作機の心土破碎抵抗ならびにロータリ破碎トルク

#### 1. 試作機のチゼル破碎深さとチゼルの心土破碎抵抗の関係

ロータリ回転数  $N_i$  (rpm) を変化した時の試作機のチゼル破碎深さ  $D_c$  (m) とチゼルの心土破碎抵抗  $R_c$  (kN) ならびにロータリ破碎トルク  $Tr$  (N·m) を計測した。計測法や記録法ならびにデータ処理法については、次章で詳しく述べることにし、本章では計測結果について簡潔に述べる。

$N_i$  を変化した時の  $D_c$  と  $R_c$  の関係を図2-4(a)に示す。また、 $R_c$  をチゼルの破碎断面積で除したチゼルの心土破碎比抵抗  $Rs$  (kPa) とチゼル深さ  $D_c$  との関係を図2-4(b)に示す。同図より  $R_c$  は、 $D_c$  に対し増加傾向を示した。また、 $N_i$  の増加につれ、あまり顕著ではないが増加傾向にあった。 $Rs$  に対しては、傾向線は右下がりの双曲線型減少関係を呈した。この場合も、 $N_i$  の増加につれあまり顕著ではないが、増加傾向にあった。

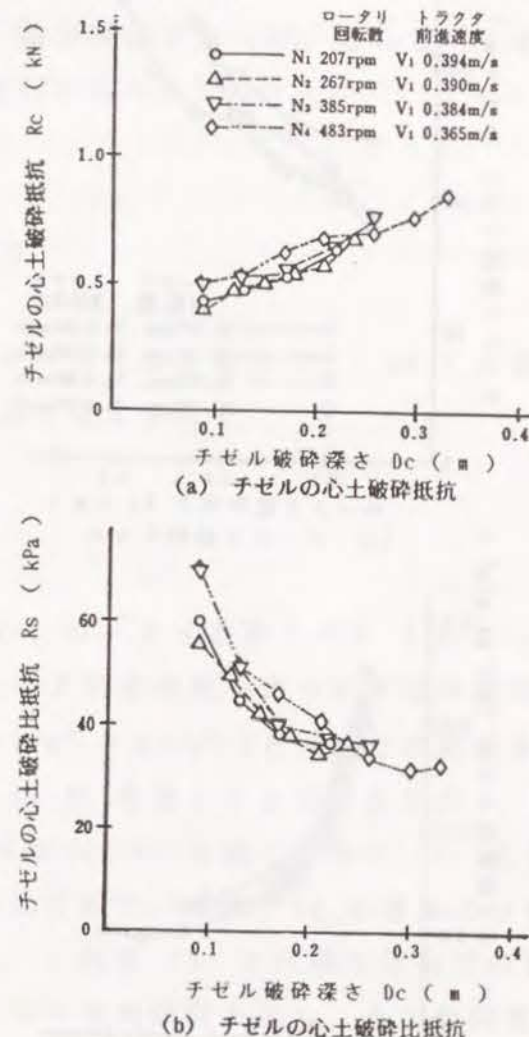


図2-4 ロータリ回転数変化時のチゼル破碎深さに対する心土破碎抵抗

#### 2. ロータリ破碎深さとロータリ破碎トルク

ロータリ回転数を変化した時のロータリ破碎深さ  $Dr$  (m) とロータリ破碎トルク  $Tr$  (N·m) の関係を図2-5(a)に示す。また、 $Tr$  をロータリの破碎断面積で除したロータリ破碎比トルク  $Ts$  (kN·m/m<sup>2</sup>) と  $Dr$  との関係を図2-5(b)に示す。同図より、 $Tr$  は、 $Dr$  に対し増加傾向を示した。また、ロー



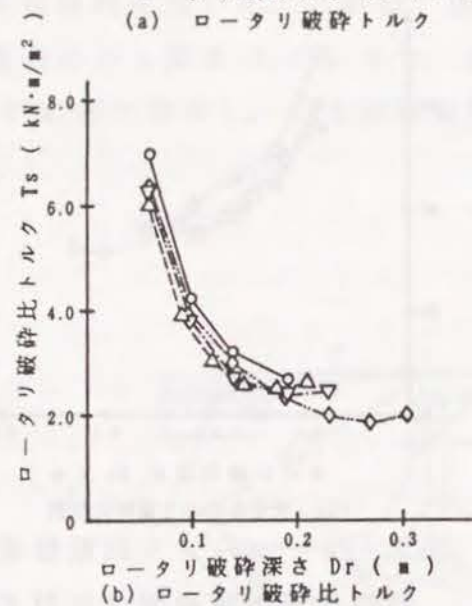
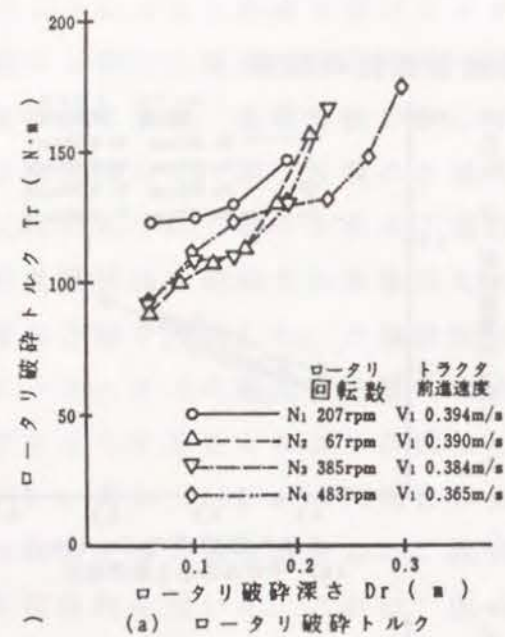


図 2-5 ロータリ回転数変化時の  
ロータリ破碎深さに対する  
ロータリ破碎トルク

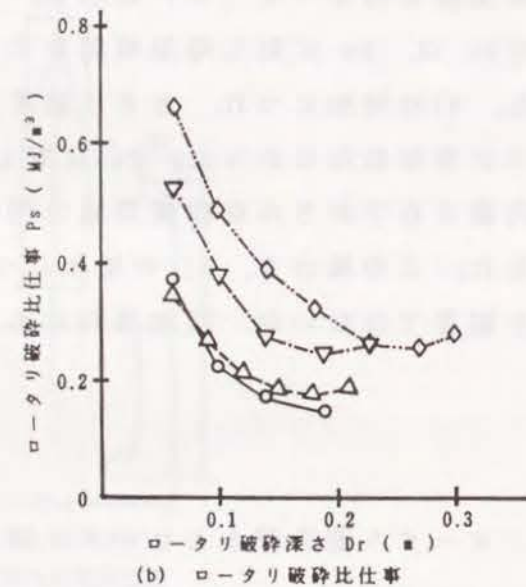
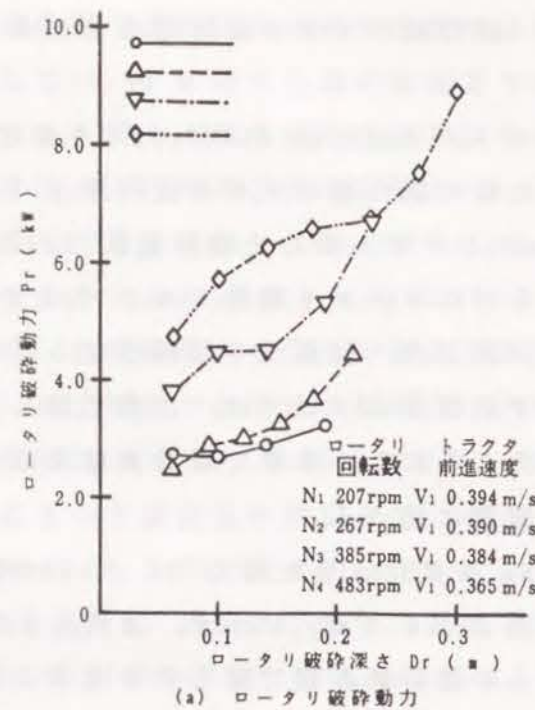


図 2-6 ロータリ回転数変化時の  
ロータリ破碎深さに対する  
ロータリ破碎動力

タリ回転数の増加につれ、ロータリ破碎ピッチが減少するから、 $T_r$  は、減少傾向となる。

$T_s$  に対しては、 $R_c$  と同様な双曲型の右下がり傾向線となった。また、 $T_s$  は、 $T_r$  と同様にロータリ回転数の増加につれ、減少傾向にあった。これら  $T_r$  や  $T_s$  の傾向は、従来の  $T_r$  や  $T_s$  と同様な傾向であった<sup>59)</sup>。

### 3. ロータリ破碎深さとロータリ破碎動力

ロータリ回転数を変化させた時の  $D_r$  とロータリ破碎動力  $P_r$  (kW) の関係を図 2-6 (a) に示す。この  $P_r$  は、次式で与えられる。

$$P_r = 2\pi N_i \cdot T_r / 60000 \quad (2-1)$$

ここで、 $N_i$ : ロータリ回転数 (rpm),  $T_r$ : ロータリ破碎トルク (N·m)。

また、 $P_r$  をロータリの破碎断面積にトラクタ前進速度を乗じた単位時間当たり体積で除したロータリ破碎比動力  $P_s$  ( $\text{MW} \cdot \text{s} / \text{m}^3 = \text{MJ} / \text{m}^3$ ) と  $D_r$  との関係を同図 (b) に示す。 $P_s$  は、(2-1) 式より  $T_r$  に  $N_i$  を乗じたものであるから、その傾向線は  $T_r$  と同じ傾向となる。しかしながら、 $N_i$  を乗じるので、 $P_r$  は当然のことながら、 $N_i$  の増加につれ、増加傾向を示す。また、 $N_i$  の増加につれ、傾向線間の間隔は広がる。  $P_s$  に対しては、これも  $T_s$  と同様な双曲型の右下がり傾向線となる。ただし、 $N_i$  の増加につれ増加傾向を呈し、その傾向線の間隔は広がった。

### 第 4 節 ほ場性能実験結果

#### 1. 耕うん前後の土壌表面形状と非破碎面形状

耕うん前後の土壌表面形状と非破碎面形状を図 2-7 (a) ~ (d) に示す。同図中の破線は耕うん前の土壌表面を示し、実線は耕うん後を、一点鎖線は破碎された土壌を排除した後の土壌表面を示す。ロータリ回転数の上昇に伴い耕うん深さが増大し、走行速度が減少した。心土破碎深さが変化したのは、破碎



深さ調節輪が作用しないように、これを浮かせた状態にして、実験を行ったためである。走行速度が減少したのは、心土破碎深さが増加し、それにつれて、耕うん抵抗が増大したためである。耕幅は心土破碎深さの増加につれ、より広くなる傾向にあった。耕うんの影響範囲は、水平方向で 0.8 m から 1.0 m であった。耕うん後の土壌の盛り上がりは、0.10 m 程度であった。チゼルはロータリ破碎爪より 0.056 m 深く設定してあるので、作用深さはチゼルの方が若干深くなっている。左右が対称となっていないのは、ロータリ破碎爪の作用の仕方が左右で異なるためである。

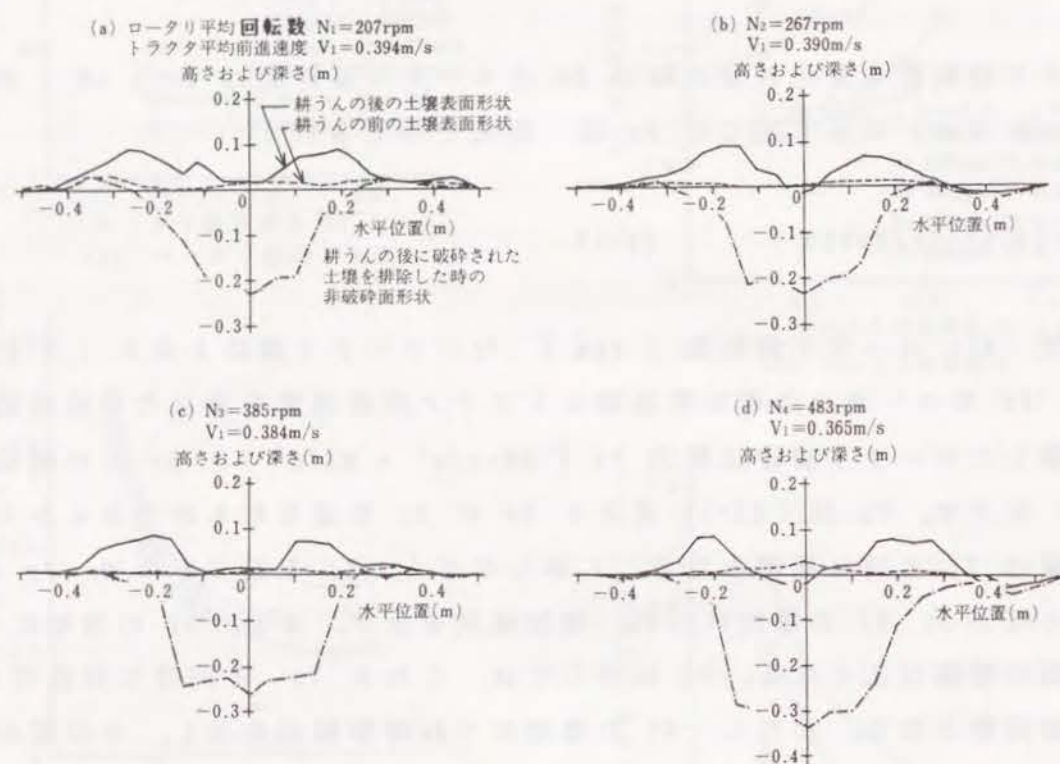


図 2-7 ロータリ回転数変化時の耕うん前後の土壌表面形状と破碎された土壌を排除した時の非破碎面形状

## 2. 心土破碎後の土壌硬度

心土破碎後の土壌硬度線図を図 2-8 に示す。同図の細い破線、一点鎖線および二点鎖線がそれぞれ 0.5, 1.0 および 1.5 MPa の等土壌硬度線を示す。等土壌硬度線は、非破碎面形状に沿っており、0.5 MPa が最も浅く、次いで 1.0 MPa, 1.5 MPa と続いていた。0.5 MPa 線は、破碎された位置に沿っている場合

が多かった。同図 (a) の等土壌硬度線は、非破碎面形状に沿っておりチゼル作用位置付近では深さ 0.35 m までその影響が及んでいるといえる。同図 (b) は (a) ほどチゼルの影響が見られなかった。同図 (c) において 1.5 MPa の等土壌硬度線は本実験中最も深く、0.39 m まで達していた。同図 (d) における等土壌硬度線の幅は、最も広くチゼルのみならずロータリ破碎爪もまた心土に影響している状況が推察される。

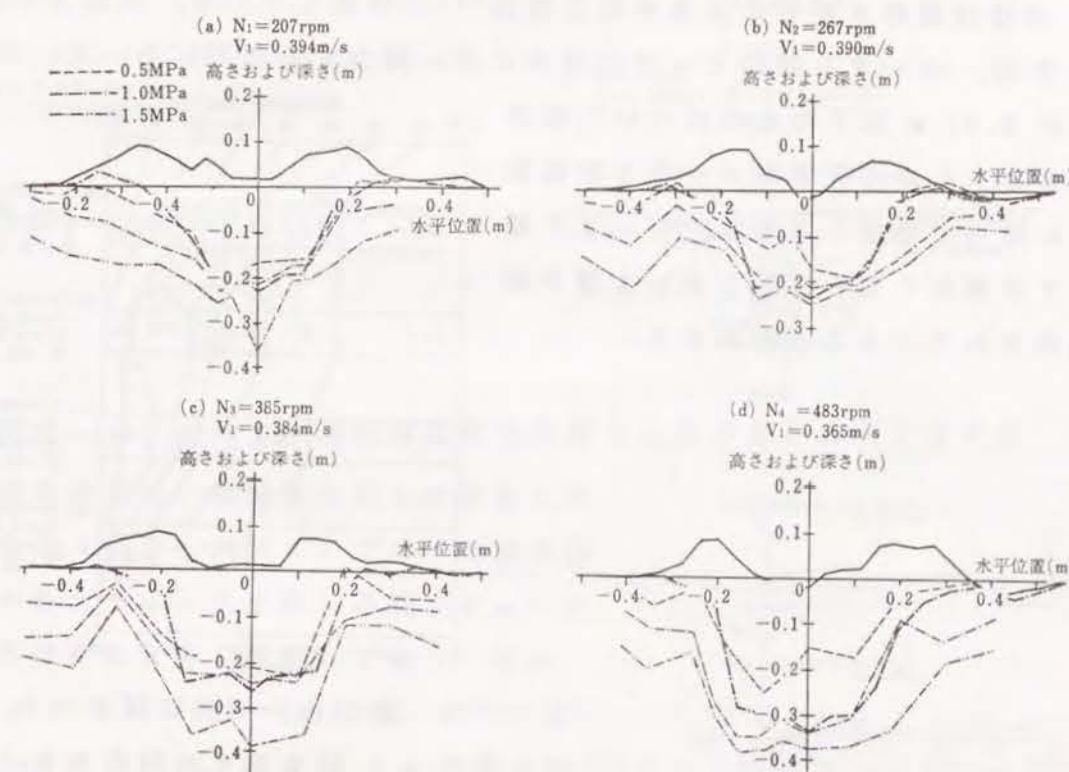


図 2-8 ロータリ回転数変化時の耕うん後の土壌硬度

## 3. 心土破碎後の土塊径分布

心土破碎後の土塊径の分布を図 2-9 に示す。図中の  $P_i$  はロータリ破碎ピッチで、次式によった。

$$P_i = 60 V_i / N_i \quad (2-2)$$

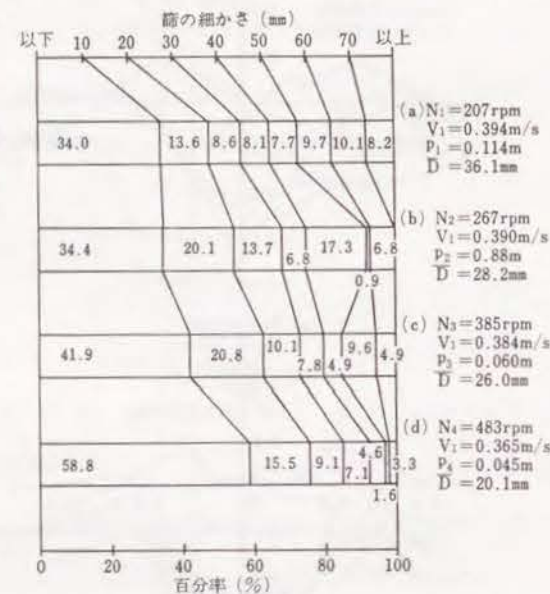


ここで、 $V_i$ :トラクタ前進速度 (m/s),  $N_i$ :ロータリ回転数 (rpm)。図中の  $D$  は重量平均径で、次式から求めた。

$$D = \sum D_i y_i / 100 \quad (2-3)$$

ここに、 $D_i$ :篩残留土塊の平均径、 $y_i$ :篩残留土塊の全土塊に対する重量百分率 (%)。

なお、本法は農林水産省による平均土塊法<sup>6)</sup>に準拠している。同図より重量平均径  $D$  は、ロータリ破碎ピッチの減少に伴い減少する傾向にあった。特に、土塊径が 0.01 m 以下のものについて検討してみると、その占有率がロータリ回転数の上昇に伴って増加しており、ロータリ破碎ピッチが細くなるにしたがい土壌が細かく破碎されていることがわかる。



注: (a)~(d)は図2-7, 図2-8に対応する。

図2-9 ロータリ回転数変化時の耕うん後の土塊径の分布

#### 4. 心土破碎後の土壌変位

心土破碎後の上下左右方向の土壌変位を図2-10に示し、上下前後方向の土壌変位を図2-11に示す。図2-10では進行方向に対し右側をプラスとし、図2-11では進行方向をプラスとした。なお、図2-10(a)の矢印を円弧状で図示したのは、チョーク片の水平位置がほぼ等しく初期位置と最終位置とが不明となるためである。ロータリ回転数変化時の耕うん後の水平方向に対する左右方向の土壌変位の平均値や、水平方向に対する垂直方向の土壌変位の平均値に対しては明確な傾向は、認められなかった。表2-1ならびに表2-2に

試作機作用深さに対する左右方向の土壌変位の平均値と垂直方向の土壌変位の平均値を示した。図2-10、図2-11および表2-1、表2-2より、ロータリ回転数が上昇するにつれ、チョーク片の移動量が大きくなることがわかる。

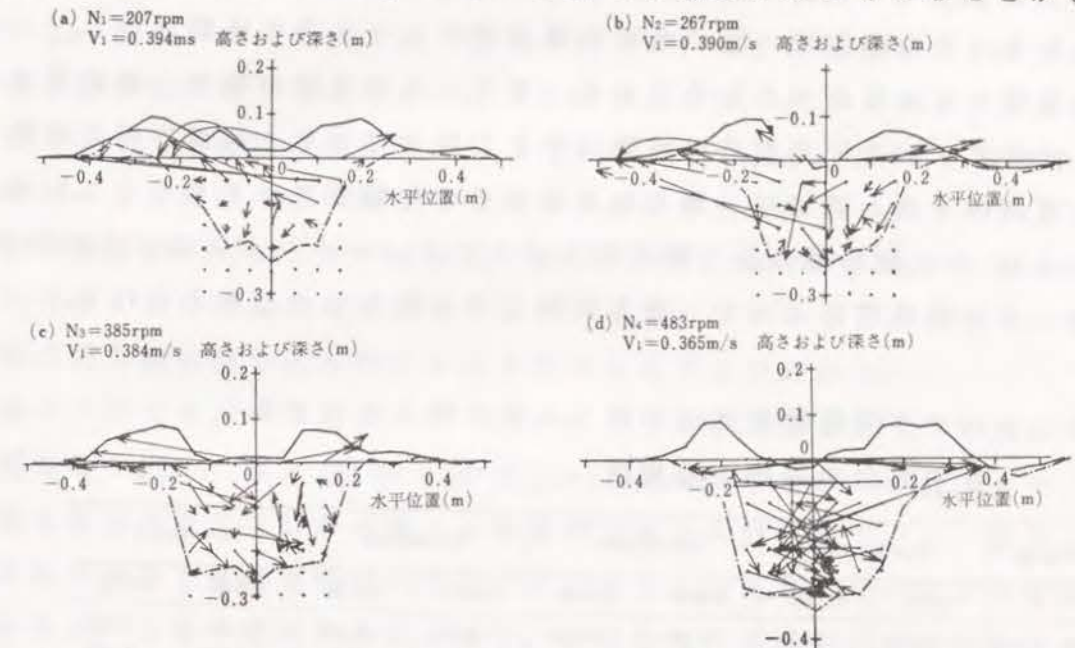


図2-10 ロータリ回転数変化時の耕うん後の左右方向土壌変位

実験条件毎に、移動量に対して詳細に検討すると、図2-10(a)では、土壌表面に置かれたチョーク片は、右端のチョーク片以外は左に大きく移動しており、また 0.05 m の深さのチョーク片は、すべて左に動かされていた。深さ 0.1 m の深さのチョーク片においても右端のチョーク片以外は、左に動かされていた。これより浅い位置のチョーク片は、上方移動もしくは同じ深さであったが、これ以上の深い位置では土壌中の更に深い位置へ動かされたものが現われた。

この時のロータリ回転中心は、丁度土壌表面であった。この時のチゼルの破碎深さは 0.22 m と比較的浅かったため、深さ 0.20 m のチョーク片にロータリ爪は作用してお

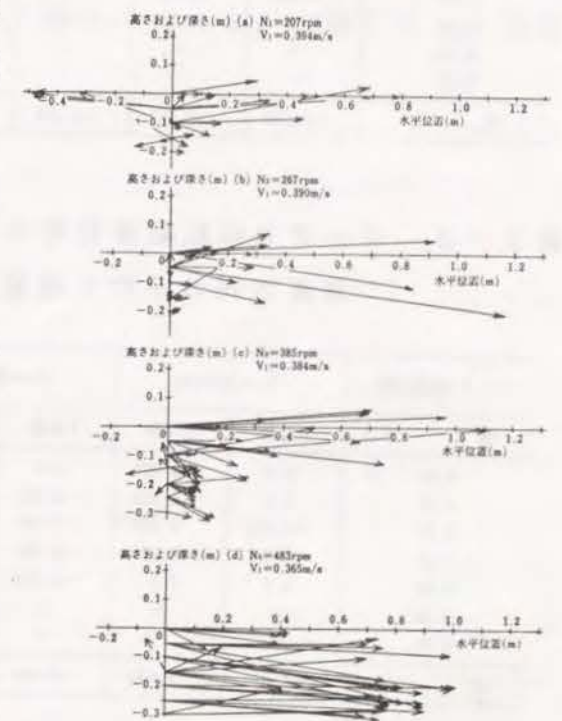


図2-11 ロータリ回転数変化時の耕うん後の前後方向土壌変位



らず、中央部のチョーク片はチゼルによって動かされたものと考えられる。チョーク片が左に多く移動したのは、本心土破碎機がチョーク片を左に移動させ勝ちというより、トラクタの進行状況により偶然このような状態となったものと考えられる。その理由は、他の条件の場合のチョーク片の移動に対し、一定の傾向が見受けられなかったためである。また、この実験の場合、破碎深さが深くなるほどチョーク片の左右の移動は小さくなっていた。前後方向の移動でも、左右方向のそれと同様に、深くなるほどその移動量は小さくなっていた。また図2-11から破碎機の後ろ側に回り込んだチョーク片があることがわかる。これはロータリ破碎爪によって、後方に押しやられたものと考えられる。

表2-1 ロータリ回転数変化時の耕うん後の深さに対する  
左右方向の平均土壌変位

ロータリ回転数	N <sub>1</sub> =207rpm		N <sub>2</sub> =267rpm		N <sub>3</sub> =385rpm		N <sub>4</sub> =483rpm	
深 さ	左移動	右移動	左移動	右移動	左移動	右移動	左移動	右移動
0.00 m	-0.193	0.120	-0.185	0.193	-0.240	0.135	-0.357	0.335
0.05	-0.179	—	-0.103	—	-0.043	0.033	-0.218	0.160
0.10	-0.070	0.050	-0.040	0.025	-0.205	0.023	-0.183	0.107
0.05	-0.023	0.020	-0.310	0.035	0.0	0.078	-0.138	0.210
0.20	—	0.020	—	0.013	-0.030	0.038	0.130	0.062
0.25	—	—	—	—	-0.010	0.020	-0.070	0.100
0.30	—	—	—	—	—	—	-0.055	0.090
全 体	-0.132	0.018	-0.154	0.038	-0.014	0.052	-0.175	0.153

表2-2 ロータリ回転数変化時の耕うん後の深さに対する  
垂直方向の平均土壌変位

ロータリ回転数	N <sub>1</sub> =207rpm		N <sub>2</sub> =267rpm		N <sub>3</sub> =385rpm		N <sub>4</sub> =483rpm	
深 さ	下移動	上移動	下移動	上移動	下移動	上移動	下移動	上移動
0.00 m	0.0	0.027	0.0	0.045	-0.030	0.038	-0.016	—
0.05	0.0	0.045	-0.068	0.060	-0.050	0.020	-0.122	0.0
0.10	-0.020	0.068	-0.049	—	-0.054	0.100	-0.090	0.0
0.15	-0.027	0.035	-0.050	0.103	-0.038	0.030	-0.073	0.103
0.20	0.0	0.0	-0.015	0.020	-0.020	5.033	-0.043	0.0
0.25	—	—	—	—	—	—	-0.045	0.30
0.30	—	—	—	—	—	—	0.0	0.035
全 体	-0.024	0.049	-0.049	0.057	-0.041	0.041	-0.065	0.057

図2-10(b)も図2-10(a)と同様に試作機の作用深さが0.23 mと浅かったけれど、ロータリ破碎爪は0.20 mのチョーク片を僅かではあるが移動させており、その作用幅も(a)より広く、チョーク片の移動量も大きくなっていた。図2-11(b)では、図2-11(a)より移動量は大きかったが、破碎機の後ろ側に回り込んだチョーク片はなかった。図2-10(c)は図2-10(b)より、試作機の作用深さが0.26 mと深くなり、0.25 m位置のチョーク片をロータリ破碎爪が移動させていることがわかる。そして、ロータリ破碎爪の作用幅も図2-10(b)より広がっていた。図2-11(c)からは、図2-11(b)より移動したチョーク片が多くなっていることがわかり、そして破碎機の後ろ側に回り込んだチョーク片もあることがわかる。

図2-10(d)の作用深さは0.32 mと本実験で最も深く、それにつれ、作用幅も最も広く、深さ0.30 mのチョーク片にも作用していた。また、その移動量も最も大きく、しかも耕うん範囲内で最も入れ乱れていて、耕うん土壌が全体的に大きく攪拌されていることがわかる。つまり、ロータリ回転数を上昇させると、土壌の攪拌が良好となり、本試作機に深層施肥機を装着させると、肥料を土中内に分散できるので、肥料やけや片ぎき等の障害を防止し、肥料の利用効果の向上への可能性を示唆している。図2-11(d)に対しても、同様なことが言える。



## 第5節 本章のまとめ

本章では、まず小型小径のロータリによる土中埋没型耕うん部と、その前部にロータリを円滑に土中に案内し、かつ心土を破碎できるチゼルを配した構成のロータリ心土破碎機を試作した。そして試作機のは場性能を明らかにするため、なた爪を用いて、トラクタ前進速度が一定の場合のロータリ回転数の変化によるチゼルの心土破碎抵抗ならびにロータリのロータリ破碎トルクを計測した。その結果、チゼルの心土破碎抵抗は、チゼルの破碎深さに対し増加傾向を示し、ロータリ回転数の増加に対し僅かであるが増加した。ロータリ破碎トルクは、ロータリ破碎深さに対し増加傾向を示した。またロータリ回転数の増加にともない、ロータリ破碎ピッチが減少するので、ロータリ破碎トルクも減少した。

また、試作機のは場性能を明らかにするため、チゼルの心土破碎深さが最大の位置において土壌の破碎表面形状と土壌硬度、碎土性および土壌の移動を計測した。その結果、本試作機は、心土の破碎深さにおいて 0.22 m から 0.32 m まで、耕幅は両側で約 0.20 m から約 0.30 m までの心土を破碎することができた。碎土性の計測から、ロータリ回転数が増大して、ロータリ破碎ピッチが小さくなるほど、土塊径 0.01 m 以下の土塊の占有率が大きくなり、土壌がより細かく破碎されることが知れた。

土壌の移動についても、ロータリ回転数が大きい時ほど、その移動量が大きく、土壌の攪拌性能が向上することが確かめられた。

## 第3章 試作機の動力特性<sup>54)</sup>

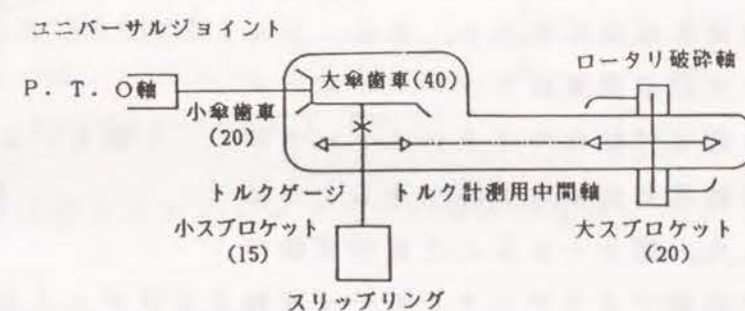
### 第1節 心土破碎動力計測システム

本章は、試作機の諸特性計測システムならびにチゼルとロータリ破碎深さを変化させた時のチゼルの心土破碎抵抗とロータリ破碎トルクなどの心土の破碎動力特性をについて述べる。

チゼルの破碎抵抗を計測したものとしては、心土犁の形状作用に関する基礎研究<sup>29,30)</sup>や各種耕耘装置比較のための基礎的研究<sup>31~35)</sup>などがあり、狭幅耕うん機具の切削抵抗に対する理論的取り組みも多数<sup>40~47)</sup>ある。

また、ロータリ破碎抵抗を計測したものとして、ロータリ式耕耘爪の耕耘作用の研究<sup>61)</sup>やロータリ耕耘の諸特性に関する研究<sup>62~81)</sup>、ロータリ耕うん機における整地耕うん<sup>82~84)</sup>など多くの報告がある。

本研究の試作機は、前章で述べたとおり、心土破碎用チゼル部と表土および心土破碎用ロータリ耕うん部とから成り、トラクタの三点リンクヒッチに装着できる方式の心土破碎機である。表土および心土破碎兼用ロータリ耕うん部はトラクタの P.T.O. 軸の回



注) 括弧内の数値は歯数を示す。

図3-1 動力伝達機構

転力により駆動される。図3-1にロータリ耕うん部の動力伝達機構を示す。同図より、トラクタのP.T.O.軸の回転力は、ユニバーサルジョイントを介して、チェーンケース内の中間軸に伝えられ、回転方向の変換ならびに減速が行われる。この中間軸において、ロータリ破碎トルクと軸回転数を計測した。ロータリ耕うん部をセンタードライブ方式としたので、左右のロータリ軸には各々偶数本のロータリ破碎爪を取り付けることができる。ロータリ破碎爪の回転方向は破碎動力軽減のためダウンカット方式とした。ロータリ耕うん部を土中に円滑に案内するため、チゼルをロータリ耕うん部の前部に設置した。

チゼルの心土破碎抵抗は、1 t 用ロードセルにより計測した。なお、チゼルの心土破碎深さおよびロータリ破碎深さは、図3-2に示すようなトラクタ前



進速度計付き作用深さ計を心土破碎機に取り付けることによって、計測した。

このトラクタ前進速度計付き作用深さ計は、心土破碎機と土壌の表面の相対的な間隙を計測することにより作用深さを計測するものである。具体的には、グラウンドホイールにパンタグラフを取り付け、パンタグラフの伸び縮みをポテンシオメータの電圧に変換し、電圧から換算した。図3-3にポテンシオメータの電圧値とチゼルの破碎深さの対応を示す。また、トラクタ前進速度はグラウンドホイールに取り付けたマイクロスイッチの断続信号により計測できるようにした。図3-4に心土破碎実験中

に収録できるデータとデータ収録およびデータ処理システムを示す。ロータリ破碎トルク、中間軸回転速度およびチゼルの心土破碎抵抗は、動歪計を介して、データレコーダに記録し、トラクタの前進速度とチゼルの破碎深さは、直接データレコーダに記録した。実験後データレコーダに記録したデータは、A/D変換器付きデジタルコンピュータで処理し、CRTやサーマルプリンタに表示したり、フロッピーディスクに書き込んだりした。フロッピーディスクに納めたデータは、パーソナルコンピュータ(NEC製PC9801VM2)で処理した。

実験に供試したほ場は本学部附属農場で、砂質ロームの畑地である。供試ほ場条件と土壌硬度は、前章の図2-2に示した。

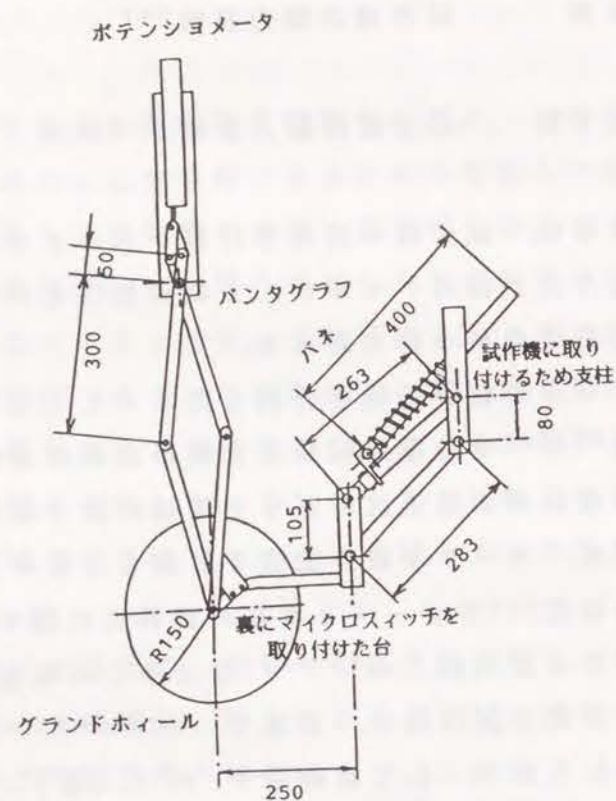


図3-2 トラクタ前進速度計付き作用深さ計

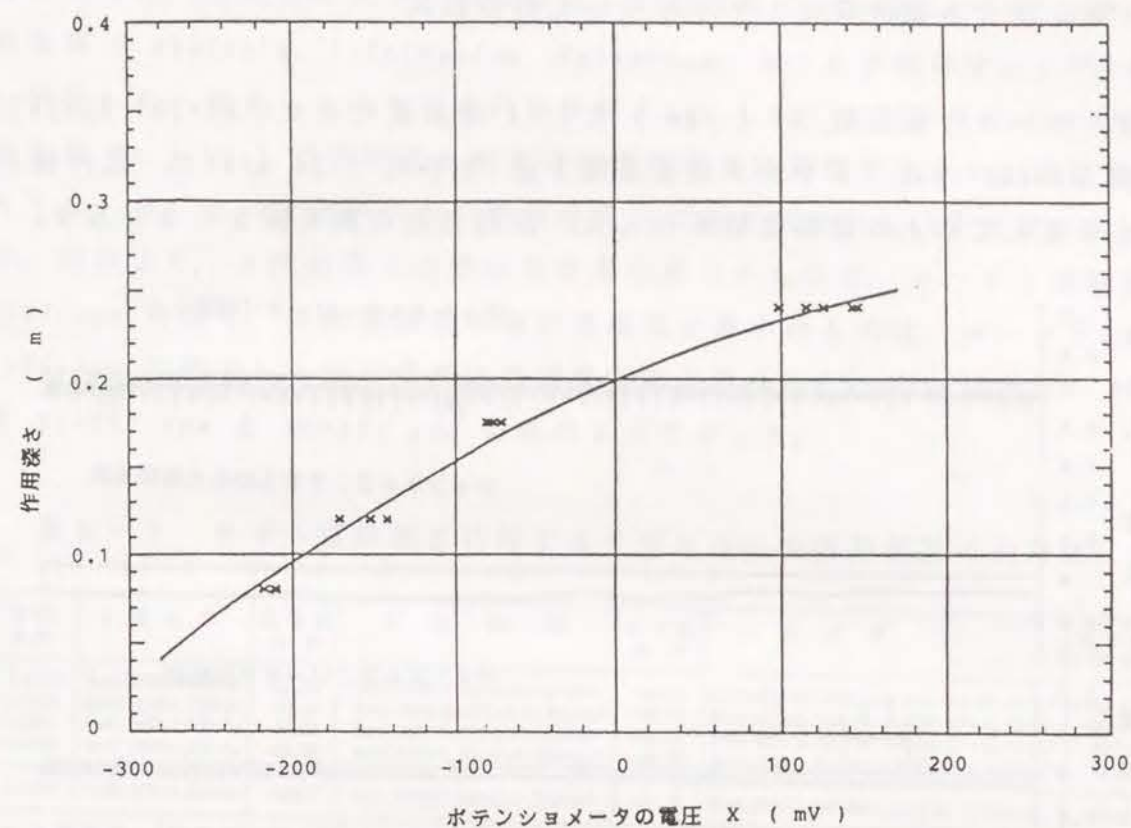


図3-3 作用深さ計とポテンシオメータの電圧の関係

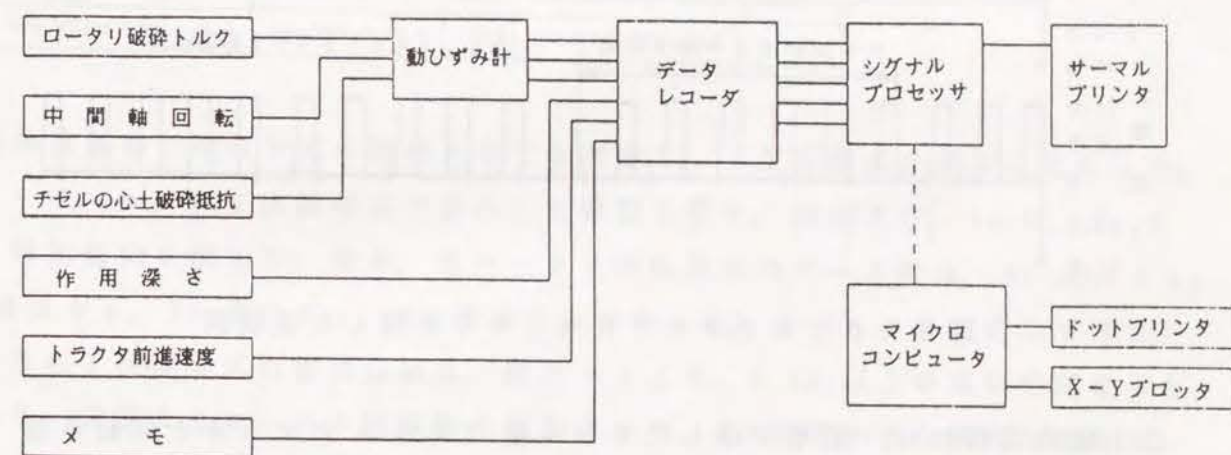


図3-4 データ収録機構と処理組織



## 第2節 チゼル破碎深さとチゼルの心土破碎抵抗

まず、ロータリ回転数  $N_i$  (rpm) を1~4速に変化させ ( $N_1=207, N_2=267, N_3=385, N_4=483$  rpm), トラクタ前進速度1速(全平均 0.38 m/s)で, 試作機の作業深さを変えて心土の破碎実験を行った。記録波形の例を図3-5に示す。

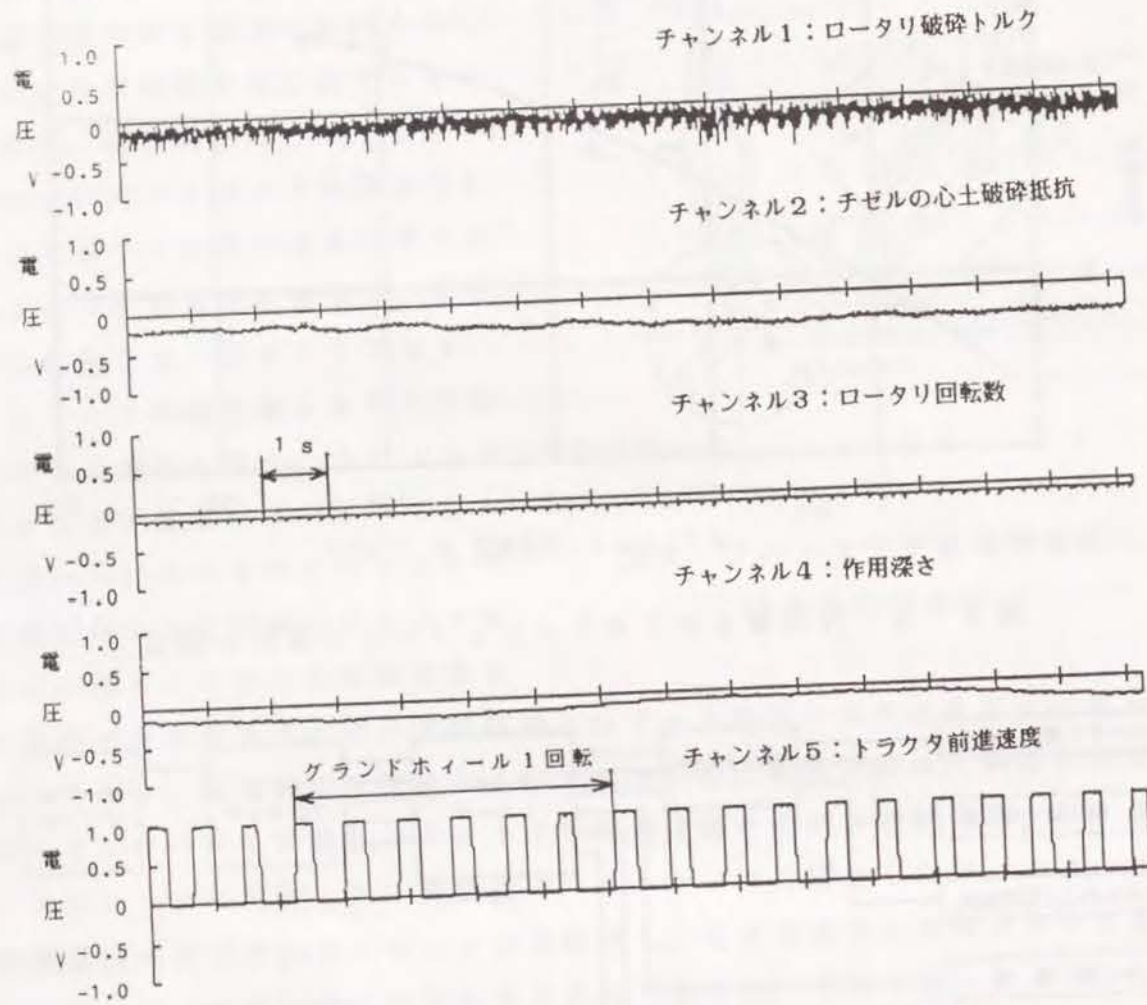


図3-5 シグナルプロセッサで処理した実験例

心土破碎実験には, 前章で示したチゼル幅 0.075 m のチゼルと回転半径 0.175 m のなた爪を用いた。データの処理法としては, 種々の方法があるが, 本研究は, 心土破碎作業による心土破碎諸抵抗と実験条件である因子(ここではチゼルの心土破碎深さやロータリ回転数)の関係が明示できることや作成された回帰式より試作機の改造のための設計指標を得ることができるなどの理由から, 回帰分析を行った。回帰曲線としては, 1次回帰式, 2次回帰式, 3次

回帰式さらにべき乗回帰式や指数回帰式, 対数回帰式の6種について赤池の情報量基準 (Akaike's Information Criterion AICと略称する)<sup>85)</sup>を算出し検討した。表3-1にチゼルの破碎深さ  $R_c$  (m) に対するチゼルの心土破碎抵抗  $R_c$  (kN) の回帰式とその情報量基準の計算結果を示す。情報量基準 (AIC) は, その数値が小さい程回帰式への適合が良いという性質を持っている。同表より, 3次回帰式の情報量基準が最小のものは, ロータリ回転数  $N_1=207$  rpm の時で, 2次回帰式の情報量基準が最小のものは, ロータリ回転数  $N_3=385$  rpm の時で, 1次回帰式の情報量基準が最小となったものはロータリ回転数  $N_2=267$  rpm と  $N_4=483$  rpm の時の2つであった。

表3-1 チゼル破碎深さに対するチゼルの心土破碎抵抗の回帰式

	相関係数	1次回帰	情報量基準	2次回帰	情報量基準	3次回帰	情報量基準
N1	0.9758	$R_c=0.2586+1.693 \cdot D_c$	-26.02	$R_c=0.4678+1.282 \cdot D_c+9.560 \cdot D_c^2$	-43.26	$R_c=0.4042+0.1116 \cdot D_c-0.0008 \cdot D_c^2+20.67 \cdot D_c^3$	-49.40
N2	0.9719	$R_c=0.2476+1.726 \cdot D_c$	-40.13	$R_c=0.3637+0.1675 \cdot D_c+4.722 \cdot D_c^2$	-39.82	$R_c=0.3382+0.8021 \cdot D_c-0.0286 \cdot D_c^2+10.82 \cdot D_c^3$	-38.40
N3	0.9571	$R_c=0.3377+1.533 \cdot D_c$	-29.66	$R_c=0.5681-1.452 \cdot D_c+8.502 \cdot D_c^2$	-35.61	$R_c=0.4975-0.0538 \cdot D_c-0.0050 \cdot D_c^2+16.09 \cdot D_c^3$	-33.34
N4	0.9788	$R_c=0.3797+1.387 \cdot D_c$	-46.50	$R_c=0.3943+1.205 \cdot D_c+0.3839 \cdot D_c^2$	-44.55	$R_c=0.3957+1.232 \cdot D_c-0.0165 \cdot D_c^2+0.9756 \cdot D_c^3$	-42.64
all	0.9435	$R_c=0.2974+1.625 \cdot D_c$	-136.7	$R_c=0.3548+2.947 \cdot D_c+1.743 \cdot D_c^2$	-33.77	$R_c=0.3336+1.299 \cdot D_c+0.0117 \cdot D_c^2+2.600 \cdot D_c^3$	-133.6

	べき乗回帰	情報量基準	指数回帰	情報量基準	対数回帰	情報量基準
N1	$R_c=1.219 \cdot D_c^{0.4581}$	-23.64	$R_c=0.3135 \cdot e^{3.195 \cdot D_c}$	-28.50	$R_c=0.9745+0.2367 \cdot \ln(D_c)$	-22.34
N2	$R_c=1.311 \cdot D_c^{0.4927}$	-38.41	$R_c=0.3073 \cdot e^{3.242 \cdot D_c}$	-41.65	$R_c=1.013+0.2593 \cdot \ln(D_c)$	-36.78
N3	$R_c=1.192 \cdot D_c^{0.3988}$	-27.08	$R_c=0.3880 \cdot e^{2.476 \cdot D_c}$	-31.45	$R_c=1.030+0.2341 \cdot \ln(D_c)$	-25.95
N4	$R_c=1.249 \cdot D_c^{0.3893}$	-44.59	$R_c=0.4250 \cdot e^{2.873 \cdot D_c}$	-46.25	$R_c=1.085+0.2533 \cdot \ln(D_c)$	-42.47
all	$R_c=1.311 \cdot D_c^{0.4568}$	-131.7	$R_c=0.3586 \cdot e^{2.888 \cdot D_c}$	-137.6	$R_c=1.076+0.2715 \cdot \ln(D_c)$	-126.8

情報量基準の数値や式の簡単さなどを考慮し, 1次回帰式を選ぶことにした。図3-6(a)に1次回帰式で表わした線図を示す。同図より,  $R_c$  は,  $D_c$  に対し増加傾向を示した。なお, 各ロータリ回転数毎のデータ数は,  $N_1$  速は4ヶ,  $N_2$  速は6ヶ,  $N_3$  速は5ヶ,  $N_4$  速は7ヶであった。全データを統合して考えた時以外の1次回帰式の相関係数は, 表3-1より, 0.92以上の高い相関を示している。同図よりロータリ回転数の増加につれ,  $R_c$  が増加する傾向にあるが, 顕著ではない。そこで, 全てのデータに対して, 一本の直線回帰式を当てはめると,

$$R_c = 0.297 + 1.63 \cdot D_c \quad (3-1)$$



となった。そして、その時の情報量基準は、表3-1より指数関数を除いて他の回帰式の種類中で最小であることが知れる。

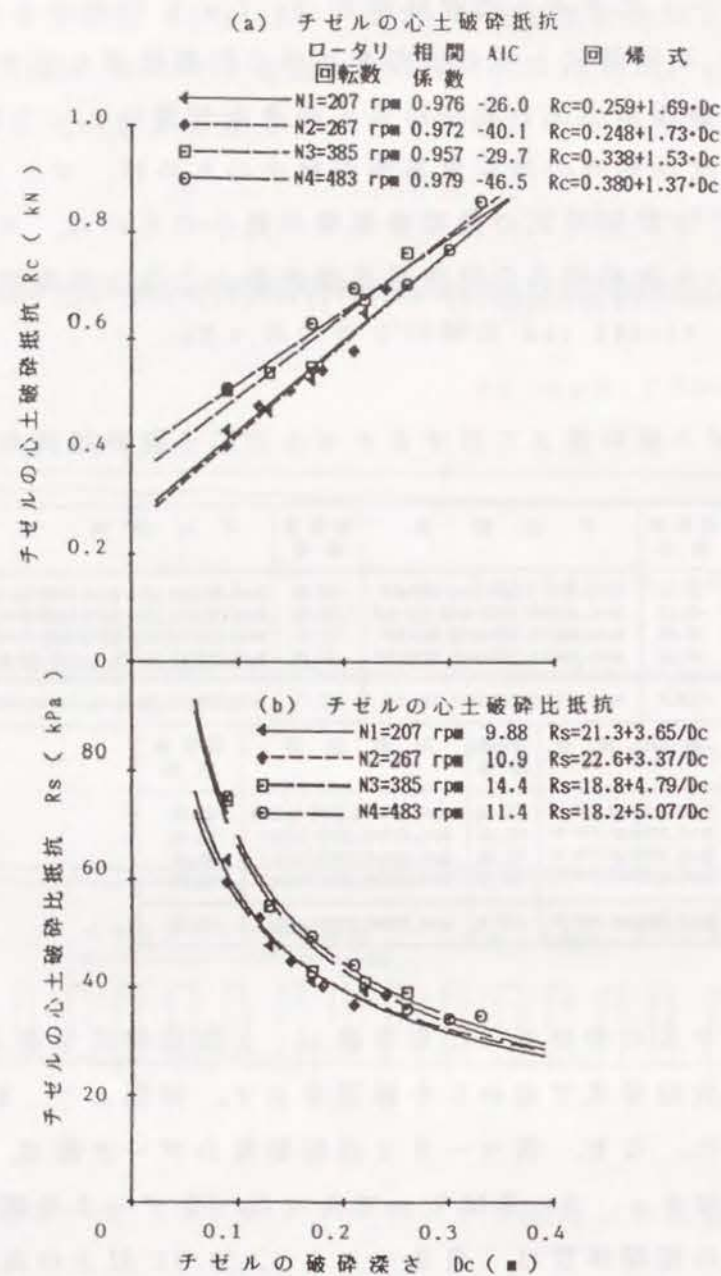


図3-6 チゼル破碎深さに対するチゼルの心土破碎抵抗と比抵抗

次いで、 $R_c$  を破碎断面積で除したチゼルの心土破碎比抵抗  $R_s$  (kPa) と  $D_c$  との関係を検討した。なお、 $R_s$  は次式で算出した。

$$R_s = R_c / A_c \quad (3-2)$$

ここで、 $A_c$  はチゼルの破碎断面積 ( $m^2$ ) を示す。この  $A_c$  は、チゼル単体を作用させた時の心土の破碎断面形状から算出すべきであるが、ここでは簡易的に破碎幅  $B_c$  (ここではチゼル幅 0.075 m を用いた) とチゼルの破碎深さ  $D_c$  (m) の積を用いた。すなわち、

$$\begin{aligned} A_c &= B_c \cdot D_c \\ &= 0.075 \cdot D_c \end{aligned} \quad (3-3)$$

となる。

$R_s$  と  $D_c$  は、図3-6(b)に示すように、 $D_c$  の増加に反比例して、減少する傾向にあった。そこで、チゼルの心土破碎抵抗で求めた回帰式に、双曲線回帰式と双曲線回帰式に1次回帰式を加えた回帰式の8種の回帰式を求めた。この場合も、情報量基準を求め検討を行った。その結果、双曲線回帰式が最も適合するものとして選んだ。線図を前述したように図3-6(b)に示す。

データ全体に、双曲線型の回帰式を当てはめてみると、

$$R_s = 20.9 + 4.11/D_c \quad (3-4)$$

となった。このときの情報量基準は 66.3 となり、他の回帰式による情報量基準の中で最小であり、最も適合していた。また、本図もロータリ回転数の増加につれ、あまり顕著ではないが、 $R_s$  が増加する傾向が認められた。

$R_s$  と  $D_c$  の関係がほぼ一定であれば、 $R_s$  に破碎断面積をかけることで、 $R_c$  が計算できたのであるが、図のように  $D_c$  の増加に反比例して、減少する傾向にあったので、(3-3)式から  $R_c$  を推定することはできない。よって、式(3-2)から、 $D_c$  に対する  $R_c$  を推定することで、試作機の設計指標として利用できる。試作機全体に作用する抵抗については、後節で検討する。

### 第3節 ロータリ破碎深さとロータリ破碎トルク

ロータリ回転数  $N_i$  (rpm) を変化させた時のロータリ破碎深さ  $D_r$  (m) とロータリ破碎トルク  $T_r$  (N·m) の回帰式と情報量基準を表3-2に示す。



同表より2次回帰式の情報量基準が最小となったものは、N1速、N2速、N3速の3つで、N4速だけは1次回帰式が最小であった。そこで、回帰式として、2次回帰式を選ぶことにした。図3-7(a)にDrとTrの関係を示す。同図よりTrは、Drに対し、増加傾向を示しており、しかもロータリ回転数の低いものほど同じ深さでは、大きくなる傾向にある。ただし、ロータリ回転数1速の時のDrの浅い位置での値が大きすぎるが、この点を除けば、前述した傾向が見られる。これは、ロータリ回転数が遅いと、ロータリ破碎ピッチが大きくなるためであると考えられる。ロータリ破碎ピッチについての考察は第5節で行う。なお、全てのデータを考慮して一本の回帰式で求めてみると、

$$Tr = 80.8 + 290 \cdot Dr \quad (3-5)$$

となり、1次回帰式の情報量基準が最小値を示した。たがって、全体で考える時は、Rcの場合と同様直線回帰式が最適であると考えられる。すなわち、本試作機を改良、または本試作機に適合するトラクタを選定する場合の指針として、(3-5)式が使用できるものと考えられる。

表3-2 ロータリ破碎深さに対するロータリ破碎トルクの回帰式

ロータリ 回転数	相 関 係 数	1 次 回 帰	AIC	2 次 回 帰	AIC	3 次 回 帰	AIC		
N1=207 rpm	0.9223	Tr=107.6+186.7・Dr	16.81	Tr=135.2-318.1・Dr+1978・Dr <sup>2</sup>	-11.97	Tr=127.0-86.57・Dr+0.8934・Dr <sup>2</sup> +5178・Dr <sup>3</sup>	1.542		
N2=267 rpm	0.9571	Tr=60.20+413.9・Dr	28.31	Tr=97.48-21891・Dr+2309・Dr <sup>2</sup>	23.97	Tr=88.00+53.52・Dr-10.10・Dr <sup>2</sup> +5968・Dr <sup>3</sup>	24.30		
N3=385 rpm	0.9440	Tr=65.94+383.0・Dr	26.97	Tr=105.4-261.8・Dr+2185・Dr <sup>2</sup>	23.96	Tr=95.89+6.990・Dr-11.83・Dr <sup>2</sup> +5319・Dr <sup>3</sup>	24.59		
N4=483 rpm	0.9518	Tr=79.27+276.5・Dr	33.88	Tr=90.63+121.6・Dr+442.3・Dr <sup>2</sup>	35.30	Tr=90.21+163.1・Dr-16.00・Dr <sup>2</sup> +1063・Dr <sup>3</sup>	36.49		
all	0.724	Tr=80.79+289.9・Dr	110.1	Tr=84.29+238.7・Dr+152.5・Dr <sup>2</sup>	112.0	Tr=83.00+265.2・Dr+1.868・Dr <sup>2</sup> +258.0・Dr <sup>3</sup>	114.0		
回 帰 式	べき乗回帰		AIC	指 数 回 帰		AIC	対 数 回 帰		AIC
N1=207 rpm	Tr=179.3・Dr <sup>0.1487</sup>	18.93	Tr=109.7・e <sup>1.392・Dr</sup>	16.10	Tr=173.4+19.63・ln(Dr)	19.23			
N2=267 rpm	Tr=269.0・Dr <sup>0.4112</sup>	31.28	Tr=71.41・e <sup>0.9744・Dr</sup>	50.16	Tr=216.6+48.22・ln(Dr)	32.75			
N3=385 rpm	Tr=257.1・Dr <sup>0.3782</sup>	29.34	Tr=76.53・e <sup>0.864・Dr</sup>	25.31	Tr=216.3+46.65・ln(Dr)	30.35			
N4=483 rpm	Tr=233.5・Dr <sup>0.3388</sup>	35.80	Tr=86.37・e <sup>0.138・Dr</sup>	33.08	Tr=206.1+41.79・ln(Dr)	37.01			
all	Tr=230.9・Dr <sup>0.3163</sup>	113.0	Tr=86.81・e <sup>0.288・Dr</sup>	110.2	Tr=203.3+39.31・ln(Dr)	115.1			

Trをロータリの破碎断面積で除した破碎比トルクTs(kN・m/m<sup>2</sup>)は、次式で求められる。

$$Ts = Tr / Ar \quad (3-6)$$

ここで、Arはロータリ破碎断面積(m<sup>2</sup>)を示す。このロータリの破碎断面積は、

前章で述べた心土の破碎面から算出すべきであるが、ここでもチゼルの場合と同様に、簡易的な破碎幅Br(ここでは実験から得られたロータリ破碎幅を用いた)とDrの積を用いた<sup>59)</sup>。

すなわち、

$$Ar = Br \cdot Dr \quad (3-7)$$

となる。

図3-7(b)にDrとTsとの関係を示す。Tsに対しては、Rsと同様な右下がり減少傾向を示した。また、Tsは、Trと同様に、ロータリ回転数の増加につれ減少傾向にあった。これらTrやTsの傾向は、耕深の浅い従来のロータリ耕うん時のトルクや比トルクと同様な傾向であった<sup>59, 82~84)</sup>。情報量基準で比較すると、双曲線回帰式に直線回帰式を加えた式が最小値を示した。全てのデータを考慮して一本の回帰式で求めてみると、

$$Ts = 0.805 + 0.655 \cdot Dr + 0.299 / Dr \quad (3-8)$$

となり、情報量基準は-34.7と最小値を示す。



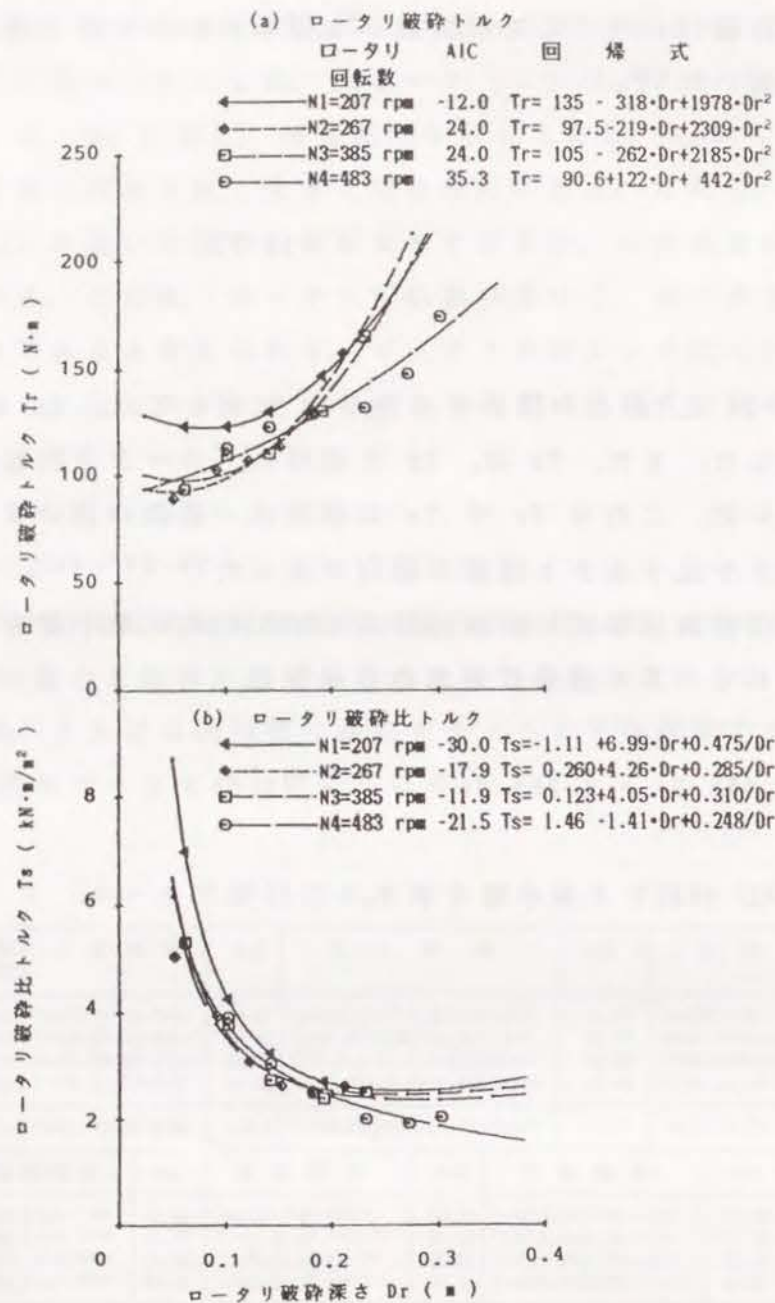


図 3-7 ロータリ破碎深さに対するロータリ破碎トルクと比トルク

#### 第 4 節 ロータリ破碎深さとロータリ破碎所要動力

ロータリ回転数  $N_i$  (rpm) を変化させた時の  $Dr$  とロータリ破碎所要動力  $Pr$  (kW) の関係を, 図 3-8 (a) に示す。なお,  $Pr$  は, (2-1) で与えられる。すなわち, ロータリ破碎所要動力は,  $Tr$  に  $N_i$  を乗じたものであるから, その傾向線は,  $Tr$  と同じである。したがって, 情報量基準も  $Tr$  と同様 2 次回帰式の数値が最小となる。しかしながら,  $N_i$  を乗じるため,  $Pr$  は当然のことながら,  $N_i$  の増加につれ, 増加傾向を示す。また,  $N_i$  の増加につれ, 傾向線間の間は広がる。

全てのデータを考慮して一本の回帰式で求めてみると,

$$Pr = 4.11 - 15.3 \cdot Dr + 102 \cdot Dr^2 \quad (3-9)$$

となった。この回帰式における情報量基準は, 12.6 であるのに対し,  $N_i$  毎の情報量基準はすべて負の数となることから, ロータリ回転数毎で考えた方が良いと思われる。

$Pr$  を単位時間当たりロータリ破碎体積  $V_r$  ( $m^3/s$ ) で除したロータリ破碎比仕事  $Ps$  ( $MW \cdot s/m^3 = MJ/m^3$ )<sup>59)</sup> と関係を図 3-8 (b) に示す。

$Ps$  は次式で表される。

$$Ps = Pr / V_r \quad (3-10)$$

ここで, 単位ロータリ破碎体積  $V_r$  ( $m^3/s$ ) は次式で求められる。

$$V_r = Ar \cdot V \quad (3-11)$$

ここで,  $Ar$  は, (3-7) 式のロータリ破碎断面積 ( $m^2$ ) を示し,  $V$  はトラクタ前進速度 ( $m/s$ ) を示す。

この  $Ps$  も  $Ts$  と同様な右下がり減少傾向を示し, 情報基準量も最小も双曲線回帰式に 1 次回帰式を加えた式の時に生じている。ただし,  $Ts$  との相違は,  $N_i$  の増加につれ, 増加傾向になることと, その傾向線間の間が広がることである。すべてのデータを考慮して一本の回帰式で求めてみると,

$$P_s = -0.0875 + 0.820 \cdot Dr + 0.0321/Dr \quad (3-12)$$

となった。この時、情報基準量は最小の -98.7 となった。

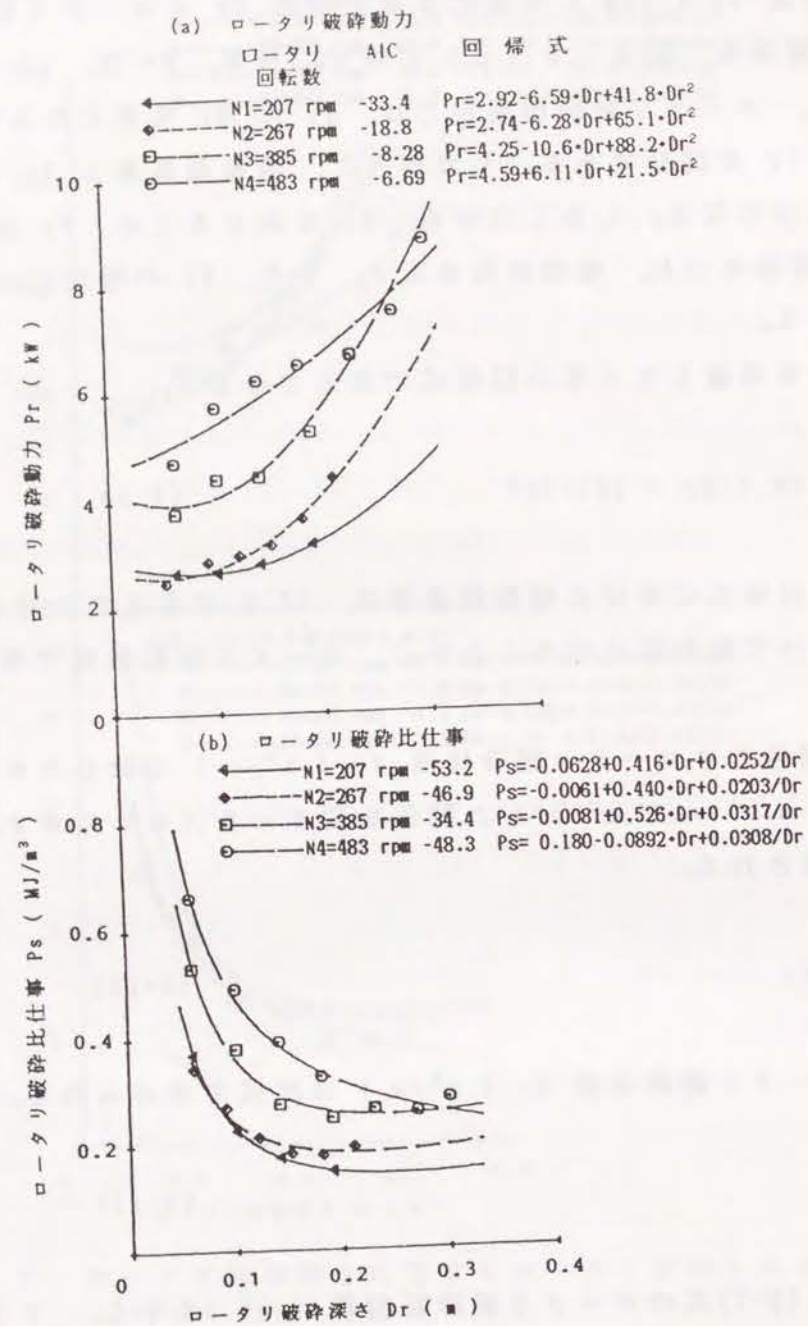


図 3-8 ロータリ破碎深さに対するロータリ破碎動力と比仕事

## 第 5 節 ロータリ破碎ピッチとロータリ破碎諸特性

実験の中から  $Dr$  がほぼ等しいものを群分けし、ロータリ破碎ピッチ  $Pi$  (m) との関係を検討した。 $Dr$  がほぼ等しいものを選んだので、各  $Dr$  での実験個数は 4 ヶとなった。すなわち、ロータリ破碎深さは ( $D1=0.062$ ,  $D2=0.10$ ,  $D3=0.137$ ,  $D4=0.187$  m) の 4 水準となった。

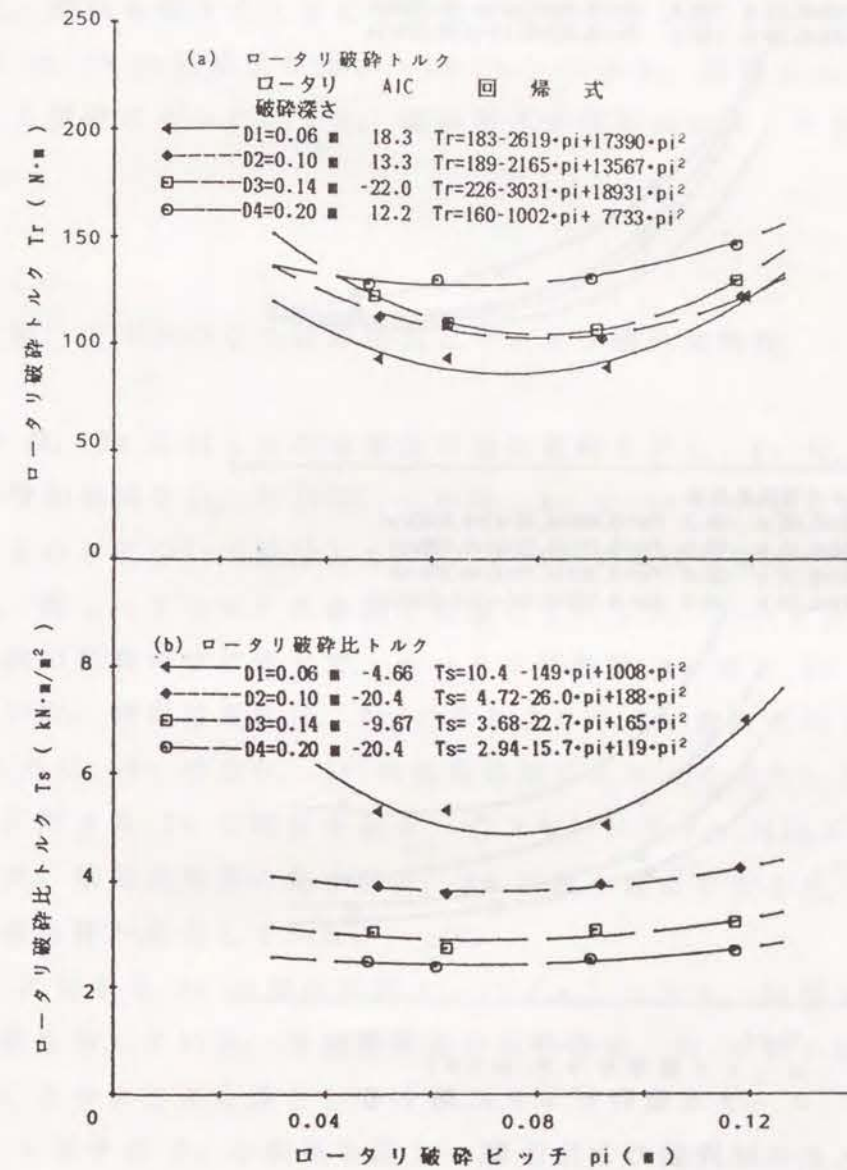


図 3-9 ロータリ破碎ピッチに対する  
ロータリ破碎トルクと比トルク



なお、 $P_i$  (m) は、(2-2)で与えられる。 $P_i$  と  $T_r$  の関係線図を図3-9 (a) に示す。同図より、線図は、 $P_i$  が 0.07 ~ 0.08 m 付近を最小とする下に凸のグラフとなった。そして、 $D_r$  との関係を検討した時に述べたように、 $D_r$  の増加に対し増加傾向を示した。

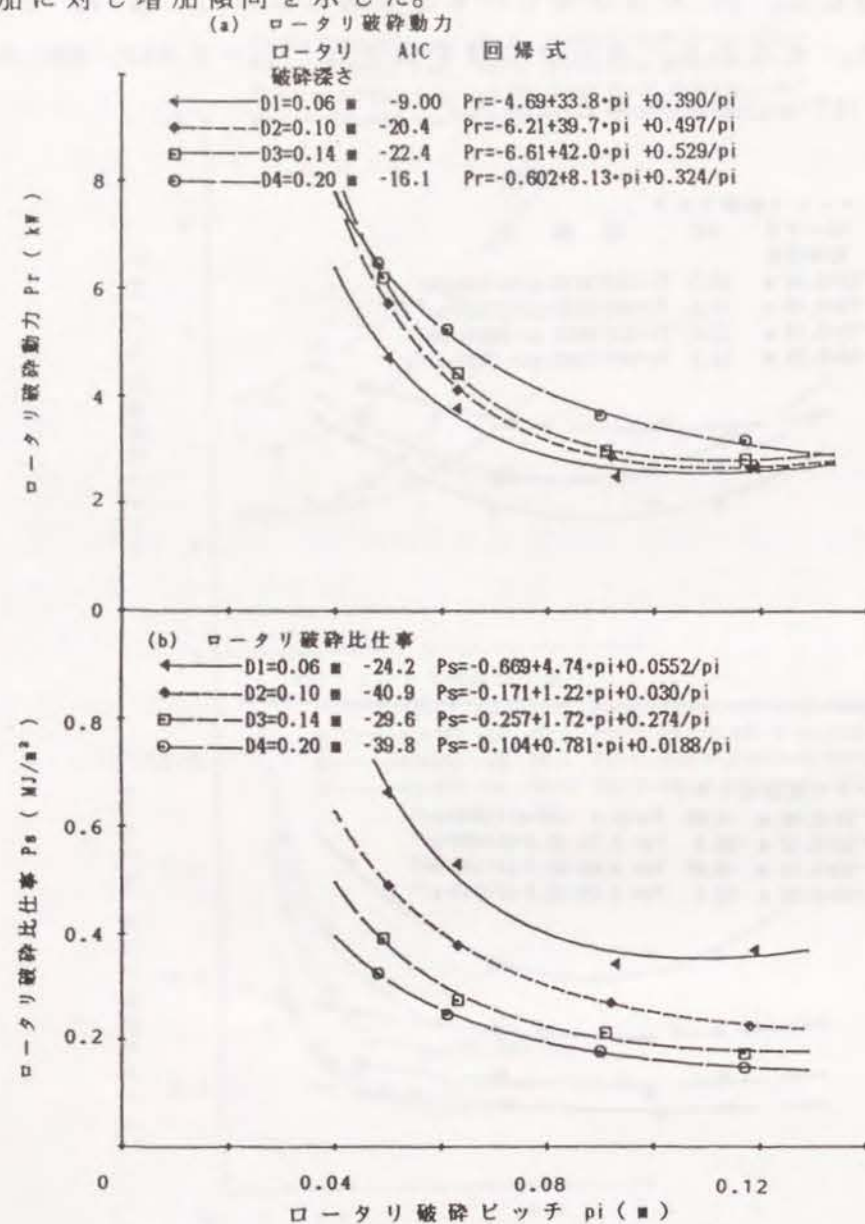


図3-10 ロータリ破砕ピッチに対する  
ロータリ破砕動力と比仕事

$P_i$  と  $T_s$  の関係線図を図3-9 (b) に示す。同図より、ロータリ破砕トルクの場合と同様  $P_i$  0.07 ~ 0.08 m が、最小となる下に凸のグラフとなった。 $D_r$  と  $P_s$  の関係が、反比例の関係にあったことと比較すると相当な相違がある

ものと考えられる。 $P_i$  と  $P_s$  の関係の  $D_r$  に対する傾向は、 $D_r$  の深いものほど、下方にある傾向にあった。 $T_r$  と  $T_s$  とともに、 $P_i$  に対しては、顕著な関係は認められなかった。

$P_i$  と  $P_r$  の図を、図3-10 (a) に示す。同図より、その  $P_r$  は、 $P_i$  に対し反比例の関係にあった。 $D_r$  との関係が2次回帰式で近似されたことに対し、本線図は右下がりの減少傾向を示し相当な相違を示している。 $D_r$  の増加に対しては、深いものほど上方に位置する傾向にあった。

$P_i$  と  $P_s$  の回帰式を図3-10 (b) に示す。同図より、 $P_i$  の増加につれ減少する傾向にあった。また、破砕深さの深いものほど下方に位置する傾向にあった。

#### 第6節 チゼルの心土破砕抵抗とロータリ破砕諸特性

$T_r$  は、 $D_r$  に対し2次曲線状の増加傾向を示し、 $R_c$  は、 $D_c$  に対し1次直線状の増加傾向を示している。この時、 $R_c$  と  $T_r$  との間に如何なる関係が存在しているのかについて検討した。 $R_c$  と  $T_r$  の関係を図3-11 (a) に示す。同図より、図3-7 (a) の線図と類似しているが、ロータリ回転数  $N_1$  速と  $N_4$  速は2次の係数がほぼ同じで、ロータリ回転数  $N_2$  速と  $N_3$  速の2次係数も似通っていた。情報量基準は、 $D_r$  のそれより小さい数値を示している。すなわち、 $D_r$  より、 $R_c$  の方が、 $T_r$  の変動曲線によりよく適合していることになる。

$R_c$  に対する  $T_s$  の関係を図3-11 (b) に示す。同図より、下に凸の曲線となった。情報基準量の最小値は、 $D_r$  の最小値より大きく、 $R_c$  の方が、 $D_r$  よりその適合性が悪化していた。

$R_c$  に対する  $P_r$  の関係を図3-12 (a) に示す。同図より、 $D_r$  とほぼ同じ傾向線を示している。情報基準量の最小値は、 $D_r$  の最小値は小さく、 $R_c$  の方が  $D_r$  よりよりよく適合している。

$R_c$  に対する  $P_s$  の関係を図3-12 (b) に示す。同図より、 $P_s$  は、 $R_c$  に対し、下に凸の2次曲線状の傾向を示した。情報基準量の最小値は、 $D_r$  の方が数値は小さく、 $R_c$  の方がロータリ破砕深さよりその適合性が悪化していることがわかる。



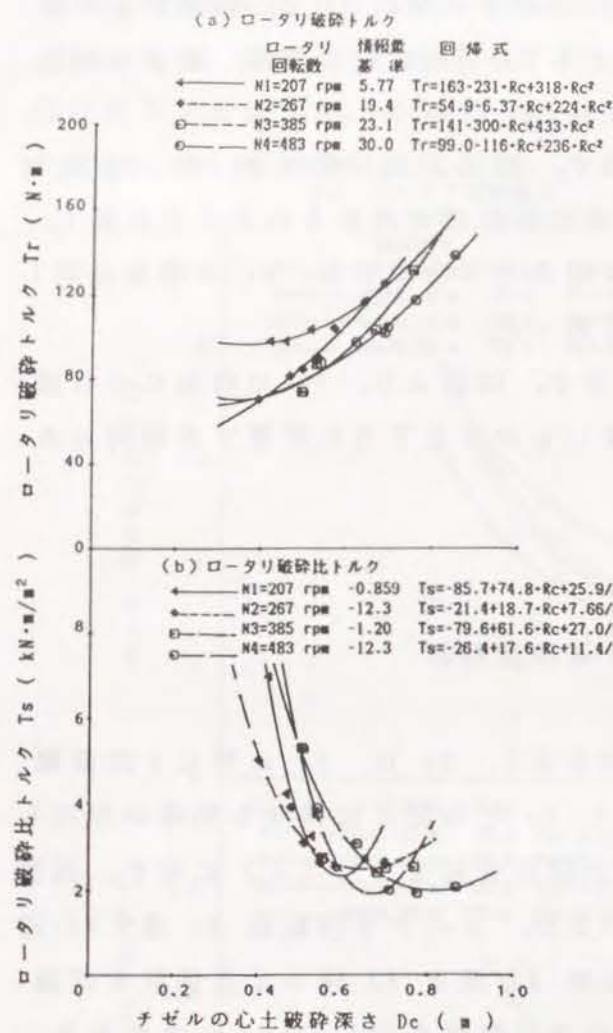


図 3-11 チゼルの土壌破砕抵抗に対するロータリ破砕トルクと比トルク

以上のことより、 $Rc$  が、 $Dr$  よりロータリ破砕諸特性の変動傾向をよりよく適合しているとは、今の時点で判定することはできない。ただし、 $Rc$  は、土壌の硬度を反映していると考えられるので、土壌の硬度との相関が判明すれば、より良い情報となりうる。

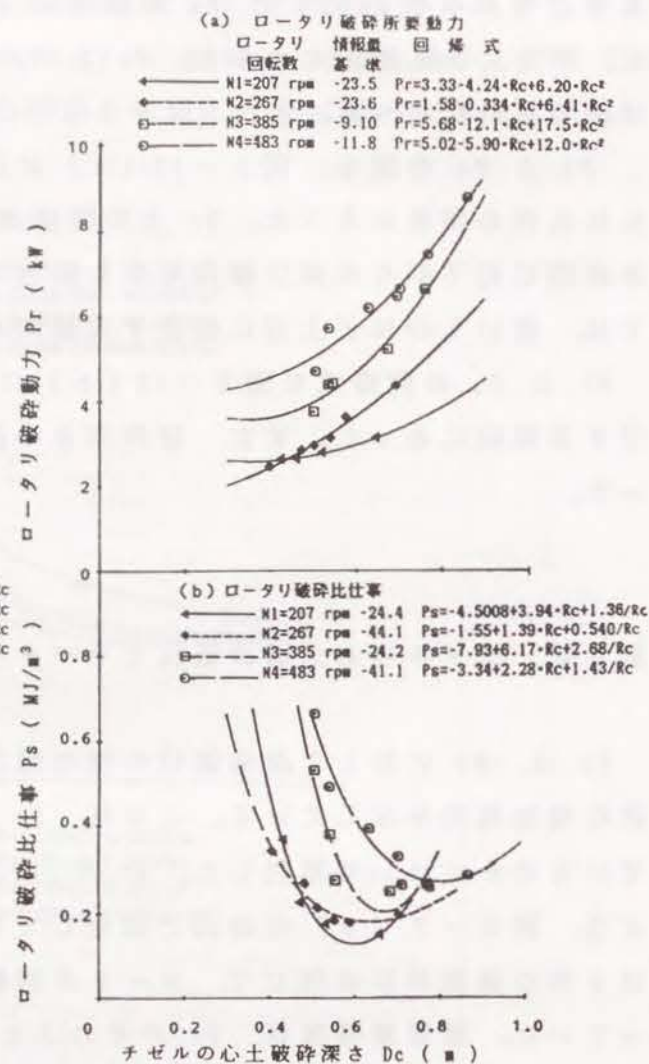


図 3-12 チゼルの土壌破砕抵抗に対するロータリ破砕動力と比仕事

## 第 7 節 チゼルの心土破砕所要動力と試作機全体の心土破砕所要動力

最後にチゼルの破砕深さ  $Dc$  (m) とチゼルの心土破砕所要動力  $Pc$  (kW) ならびに試作機全体の心土の破砕所要動力  $Pt$  (kW) について検討した。 $Pc$  は、 $Rc$  とトラクタ前進速度  $V$  の積で表わされる。すなわち、

$$Pc = Rc \cdot V \quad (3-13)$$

となる。 $Dc$  に対する  $Pc$  の関係を図 3-13 (a) に示す。同図より、ロータリ回転数  $N4$  速以外は下に凸の 2 放物線を描いたが、ロータリ回転数  $N4$  速は上

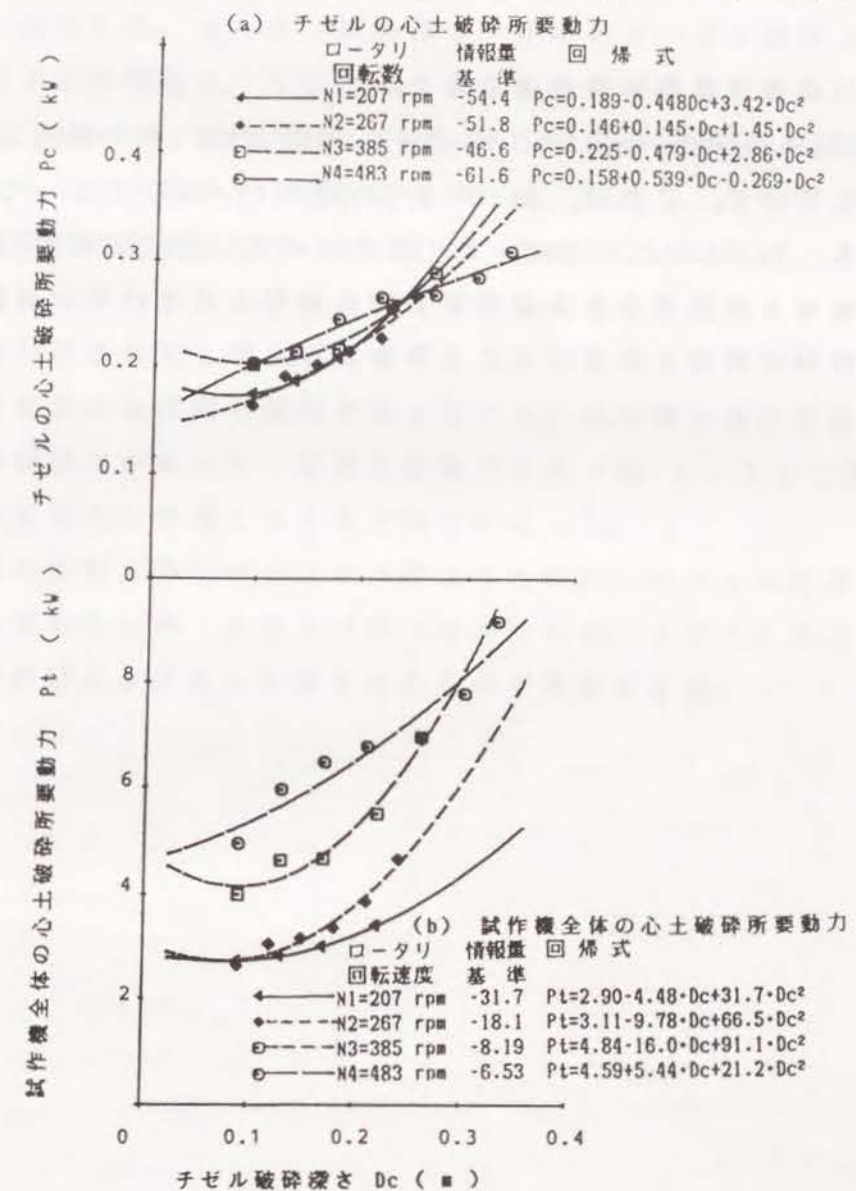


図 3-13 チゼル破砕深さに対するチゼル心土破砕動力と心土破砕機全体の心土破砕動力



に凸の放物線を描いた。Pc は、Dc の増加に対し増加する傾向にあった。また、Pc は N4 速を除くと、ロータリ回転数の高いもの程高くなる傾向にあった。これは、ロータリ回転速度が N4 速と高くなると、ロータリ破碎深さが深くなり、チゼル付きロータリ心土破碎機全体の破碎抵抗が増える以上にトラクタ前進速度が低下するためと考えられる。

データのすべてを一本の回帰式で表示すると、

$$P_c = 0.135 + 0.539 \cdot D_c \quad (3-14)$$

の 1 次回帰式の情報量基準が最小となった。

Dc と Pt の関係を図 3-13 (b) に示す。同図より、その傾向は、図 3-8 (a) と類似している。これは、Pc が Pr の約  $1/20$  となっていることによる。すなわち、Pt はほとんどロータリ部が占めていることを示している。このことから、チゼル単独で心土を破碎する時に利用されていない所要動力が本試作機では、有効に利用されていることがわかる。

## 第 8 節 本章のまとめ

本章では、なた爪を用いて、トラクタ前進速度が一定の場合のロータリ回転数の変化によるチゼルの心土破碎抵抗ならびにロータリ破碎トルクを計測した。その結果、チゼルの心土破碎抵抗は、チゼルの破碎深さに対し増加傾向を示し、ロータリ回転数の増加に対し、僅かであるが増加した。ロータリ破碎トルクは、ロータリ破碎深さに対し、増加傾向を示した。また、ロータリ回転数の増加にともない、ロータリ破碎ピッチが減少するので、ロータリ破碎トルクは、僅かに減少した。ロータリ破碎深さ一定時のロータリ破碎ピッチとロータリ破碎トルクとの関係は、下に凸の 2 次曲線状の傾向を示した。ロータリ破碎所要動力は、ロータリ破碎トルクにロータリ回転数を乗じたものであるため、その傾向はロータリ破碎トルクと同じになる。ただし、ロータリ回転数の変化分だけ、線図間の間が広がった。また、当然のことながら、ロータリ回転数の上昇にともない増加した。ロータリ破碎比トルクやロータリ破碎比仕事は、ロータリ破碎深さに対し減少傾向を示した。これは、従来のロータリ作用深さが浅い時の結果とほぼ同じ傾向を示している。試作機全体の所要動力は、チゼルの破碎所要動力がロータリ破碎所要動力に比べ約  $1/20$  であるので、ロータリ破碎所要動力の傾向とほとんど同じになった。

試作機の所要動力算出やトラクタ選定のために、チゼルの破碎所要動力を重要視する必要はないが、本章では論じなかったが、トラクタ進行低下率にチゼルの心土破碎抵抗が大きな影響を与えるので重要である。



### 第1節 はじめに

本章は、チゼル部とロータリ部の相互作用についての検討結果について述べる。まず最初にチゼル単体、次いでロータリ単体、最後に試作チゼル付きロータリ心土破碎機との比較について述べる。

### 第2節 実験装置および方法

チゼル単体の実験装置を、図4-1に示す。本機は、トラクタの三点リンクヒッチに装着できるようにボトムプラウのメインフレームを利用した。チゼルの傾斜角は、作用深さにより変動するので、チゼル傾斜角が $14^\circ$ になるよう実験毎にトップリンクを伸縮させた。トラクタ前進速度は、V1速(平均 $0.38\text{ m/s}$ )に固定し、作用深さを变化させて実験した。なお、チゼルの心土破碎抵抗は、チゼルの先端に作用するものと考えた。

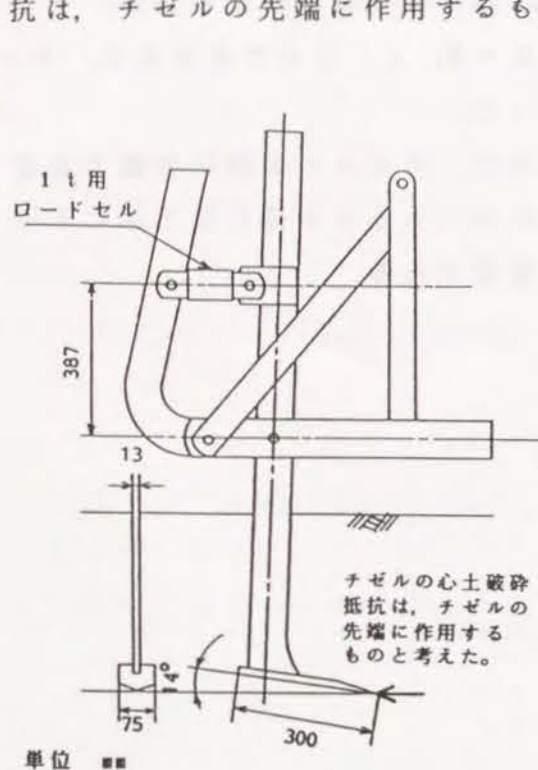


図4-1 チゼル単体の心土破碎機の概要

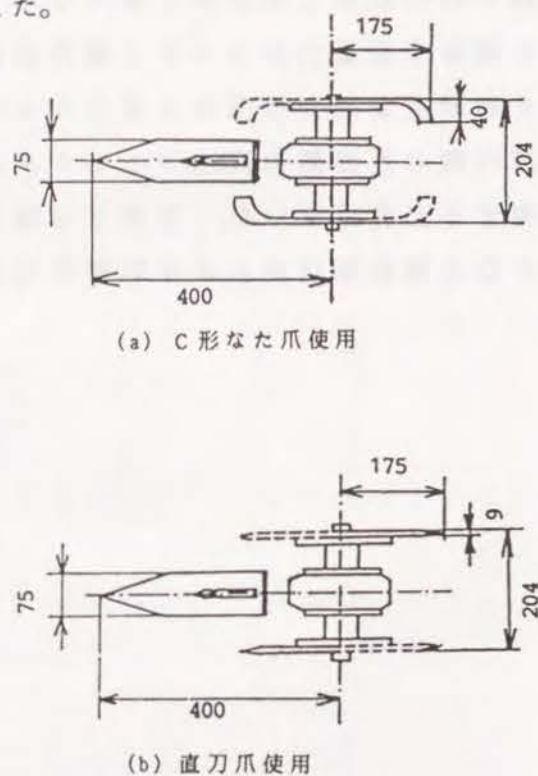


図4-2 試作チゼル付き心土破碎機のロータリ破碎爪とチゼルの配列位置(平面図)

次いで、チゼル付きロータリ心土破碎機のチゼルを取り外した時の心土破碎実験を行い、ロータリ部の心土破碎抵抗を計測した。なお、ロータリ破碎爪は、図4-2の(a)の回転半径 $0.175\text{ m}$ のなた爪2本を用いた。トラクタ前進速度は、チゼル単体の実験と同様にV1速に固定させた。ロータリ回転数は、N1~N4速に変化させた。

試作チゼル付きロータリ心土破碎機の実験は、チゼル単体での結果と比較するため、トラクタ前進速度V1速に固定して、チゼル単体の作用深さを合わせるように6段の深さを設定して実験した。また、チゼルの有無についての比較を行うため、ロータリ回転数をN1~N4速に変化させた。

なお、ロータリ破碎爪は、図4-2に示すように回転半径 $0.175\text{ m}$ のなた爪と直刀爪を用いた。

供試は場は本学農学部附属農場で、砂質ロームであるが、大山黒ぼくと呼ばれる特殊土壌である。実験日の貫入深さと土壌硬度線図を図4-3に示す。なお、土壌硬度は、山中式土壌硬度計を用いて計測した。

### 第3節 実験結果および考察

#### 1. チゼル単体の心土破碎抵抗

チゼル単体の心土破碎抵抗 $R_c$ (kN)とチゼルの破碎深さ $D_c$ (m)との関係を図4-4に示す。同図より、 $R_c$ は、 $D_c$ の増加につれ直線状に増加する。その相関係数は、 $0.953$ で有意水準 $1\%$ の相関係数 $0.834$ より大きかった。

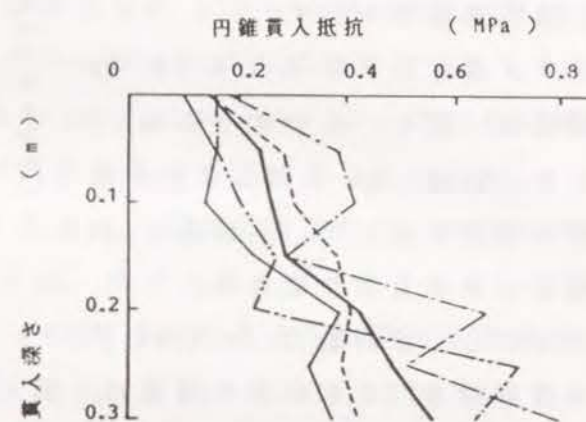


図4-3 供試は場の土壌硬度

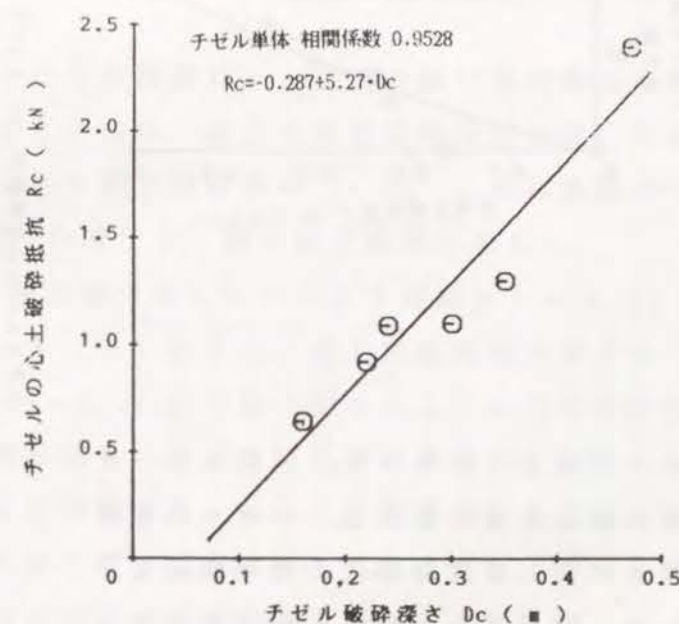


図4-4 チゼル単体のチゼル破碎深さに対するチゼルの心土破碎抵抗



回帰式は、図中に示すような式となった。

次いで、チゼルの破碎断面積で除したチゼルの心土破碎比抵抗  $R_s$  (kPa) とチゼルの破碎深さ  $D_c$  (m)

の関係は、図4-5のようになった。同図より、 $R_s$  は、 $D_c$  に対し双曲線回帰式に1次回帰式を加えた回帰式で近似できた。その回帰式を図中に示す。なお、図中の AIC は、前章で用いた情報量基準を示す。

トラクタ進行低下率  $S$  (%) と  $D_c$  との関係は、図4-6のようになった。同図より、 $S$  は、 $D_c$  に対し2次曲線状の増加傾向を示した。回帰式と AIC は、図中に示すとおりである。

チゼルの心土破碎動力  $P_c$  (kW) とチゼルの破碎深さ  $D_c$  (m) の関係は、図

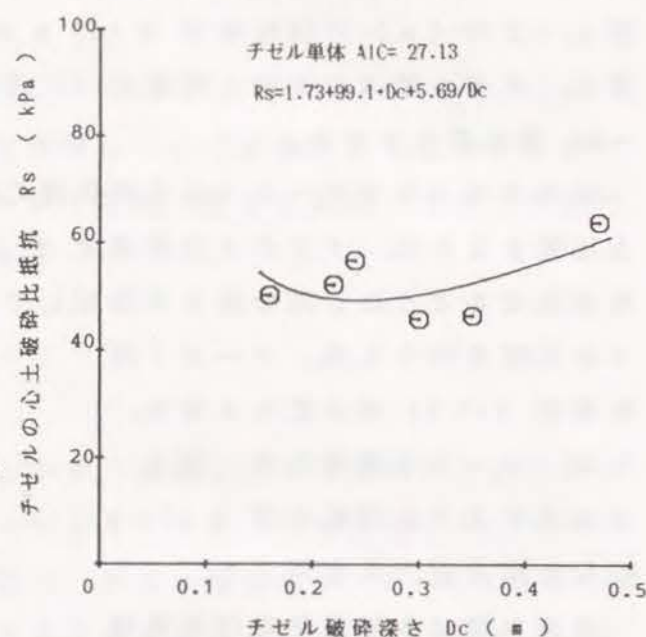


図4-5 チゼル単体のチゼル  
破碎深さに対するチゼルの  
心土破碎比抵抗

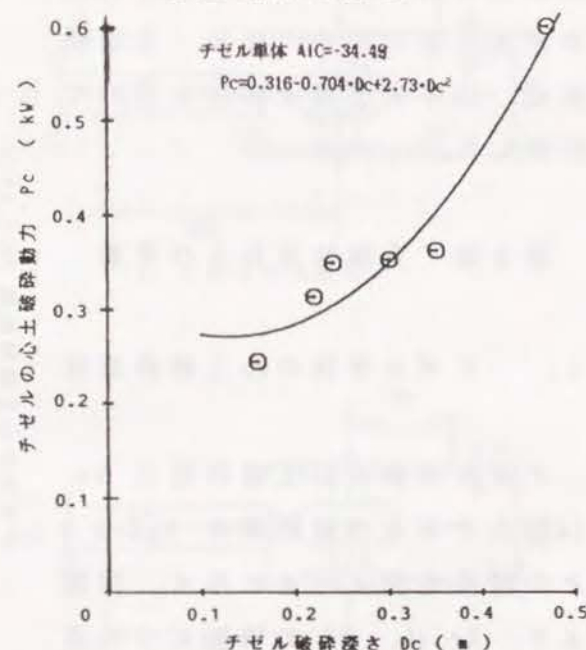
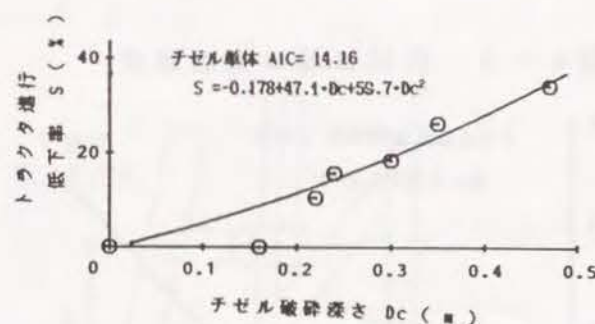


図4-7 チゼル単体のチゼル  
破碎深さに対するチゼルの  
心土破碎動力



4-7のようになった。同図より、チゼルの心土破碎動力は、チゼルの破碎深さに対し2次曲線状の増加傾向を示した。回帰式と AIC は、図中に示すとおりであった。この情報量基準は、負の値となり、回帰式の適合性の高いこ

とがわかる。

## 2. チゼル付きロータリ心土破碎機のチゼルの存在が ロータリ破碎トルクに及ぼす影響

ロータリ部とチゼル部の相互作用を検討するため、試作機のチゼルを外した状態での試作機の破碎作用を検討した。試作機よりチゼルを外した状態で、破碎実験を行ったところ、試作機の破碎深さは約 0.1 m と浅くなってしまった。これは、本試作機のロータリ部がセンタードライブ形式であって、しかもチェーンケース部の幅が 0.056 m と大きかったことによる。よってこれ以降の実験では、ロータリ破碎深さ 0.1 m での結果について述べることにした。

$P_i$  と  $T_r$  の関係を図4-8(a)に示す。なた爪使用時は、チゼルの有無に対しあまり差はないが、直刀爪使用では、チゼル付の方が大きくなっていた。なた爪使用時は、 $P_i$  が 0.06~0.08 m で最小値をとる下に凸の2次曲線状の傾向を示した。この関係は、前章の図3-9(a)の破碎深さ  $D_2 = 0.1$  m のものの傾向とよく似ている。なた爪使用チゼル付きロータリ心土破碎機は、チゼル無しロータリ心土破碎機に比べ両端部で大きくなっているが、 $P_i$  が 0.06~0.08 m 付近ではあまり差がなかった。

直刀爪使用時チゼル無しロータリ心土破碎機は、上に凸の緩い増加傾向を示した。直刀爪の  $T_r$  がなた爪より小さいのは、直刀爪が屈曲部を持たないためである。直刀爪使用チゼル付きロータリ心土破碎機の  $T_r$  は、これらの図の中で最も大きいものとなっており、 $P_i$  の増加で、緩い減少傾向を示した。

$T_r$  をロータリ心土破碎機の破碎断面積で除したロータリ破碎比トルク  $T_s$  ( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ ) と  $P_i$  の関係を図4-8(b)に示す。直刀爪使用時チゼル無しロータリ心土破碎機以外は、 $P_i$  0.06~0.08 m で最小値をとる下に凸の2次曲線状の傾向を示した。これは、前章の図3-9(b)の破碎深さ  $D_2 = 0.1$  m のものの傾向とほぼ同じである。また同図より、ロータリ破碎比トルクは、チゼルの無いものが有る方ものより大きくなる傾向にあった。これは、ロータリ心土破碎機の破碎断面積がチゼル付きの方が大きいからである。



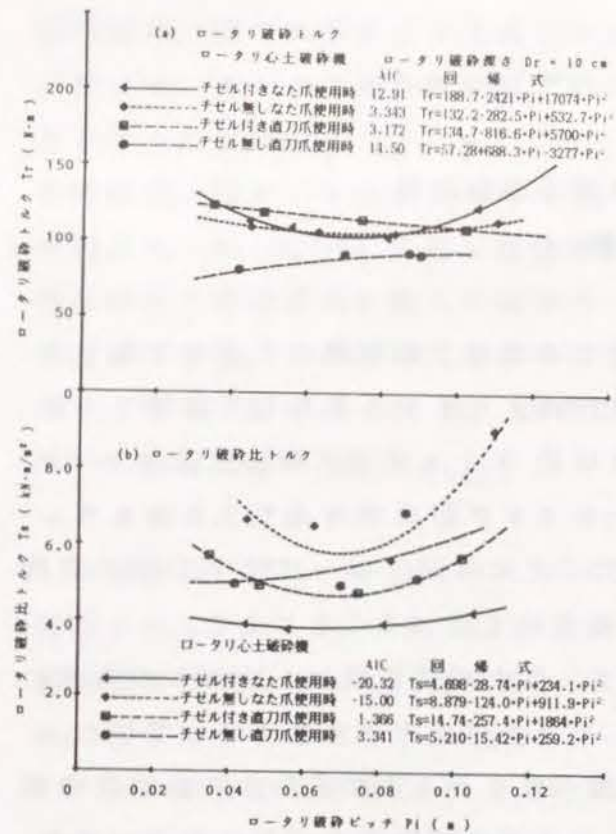


図 4-8 ロータリ単体のロータリ破砕ピッチに対するロータリ破砕トルクと比トルク

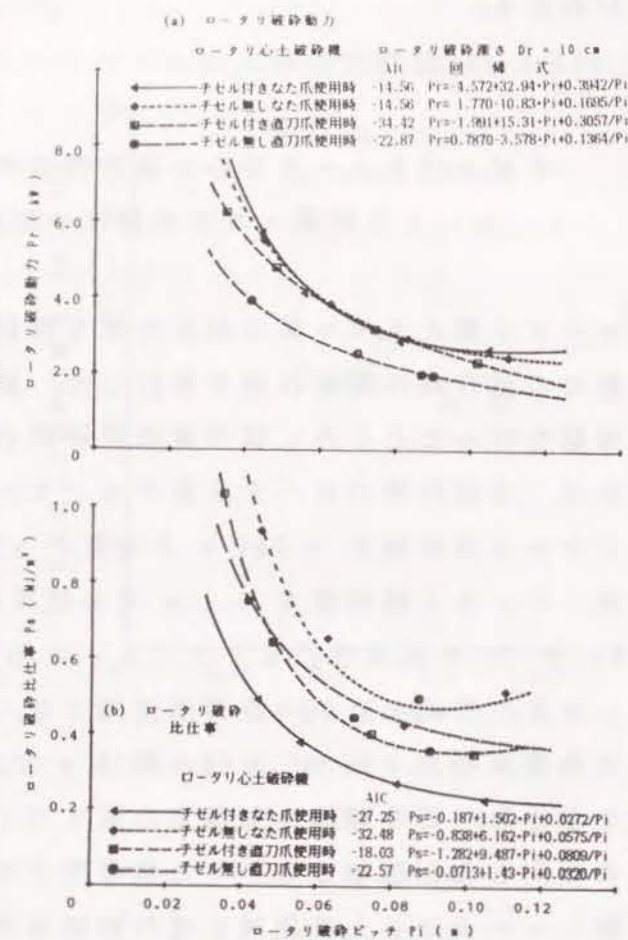


図 4-9 ロータリ単体のロータリ破砕ピッチに対するロータリ破砕動力と比仕事

$P_i$  と  $P_r$  の関係を図 4-9 (a) に示す。同図より、 $P_r$  は、 $P_i$  に対し双曲線型の減少傾向を示した。同図より、なた爪使用チゼル付きロータリ心土破砕機が最も大きく、それより僅かに小さくなつた爪使用チゼル無しロータリ心土破砕機が続く、さらにそれより小さく直刀爪使用チゼル付きロータリ心土破砕機が続く。そして、少し離れて最後に直刀爪使用チゼル無しロータリ心土破砕機となる。これらの線図の傾向は、前章の図 3-10 (a) の破砕深さ  $D_2 = 0.1 \text{ m}$  のものの傾向とよく一致している。

$P_i$  と  $P_s$  の関係を図 4-9 (b) に示す。同図より、傾向線は前章の図 3-10 (b) とよく似た曲線となるが、なた爪使用チゼル無しロータリ心土破砕機

と直刀爪使用チゼル付きロータリ心土破砕機のものの  $P_i = 0.1 \text{ m}$  付近で上昇傾向に転ずるところが若干異なっていた。傾向線の大きさ順は、 $T_s$  と同じであり、 $T_s$  と同様なことが考えられる。

$P_i$  とトラクタ進行低下率  $S(\%)$  の関係を図 4-10 に示す。同図より、直刀爪使用チゼル無しロータリ心土破砕機では、 $P_i$  の増加につれ、増加傾向となった。それ以外は、 $P_i$  の増加につれ、減少傾向にあった。 $P_i$  の増加につれ減少傾向となったのは、 $P_i$  が大きいと  $T_r$  が大きくなり、ロータリ破砕爪の心土破砕反力が大きくなるからと考えられる。

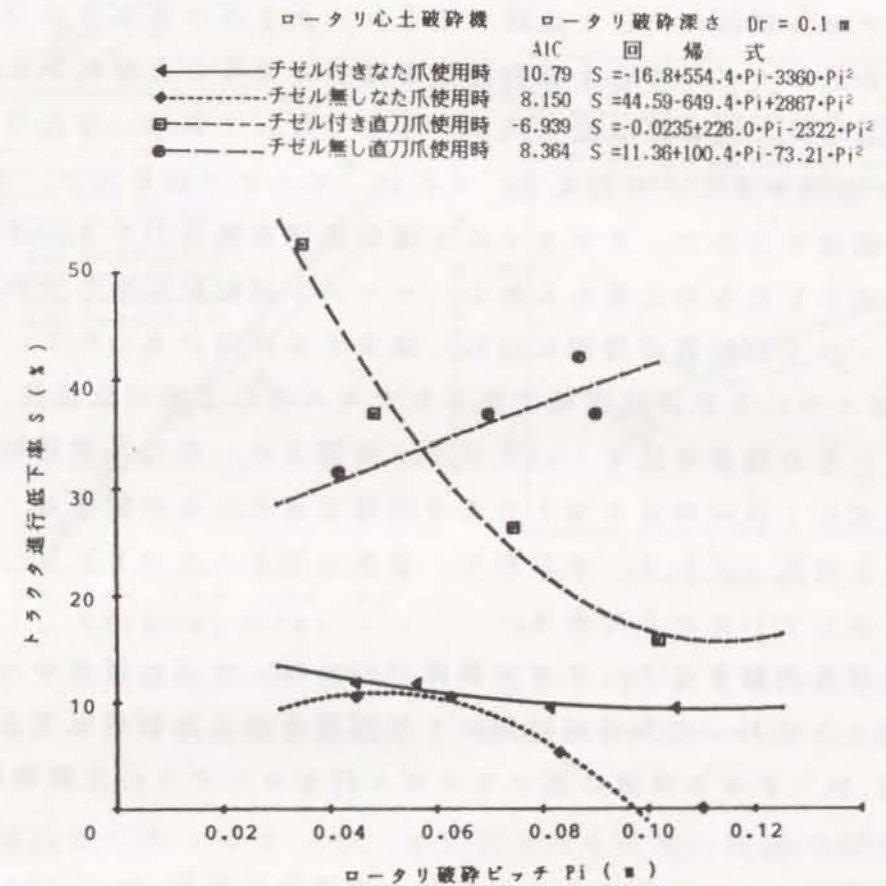


図 4-10 ロータリ単体のロータリ破砕ピッチに対するトラクタ進行低下率



### 3. チゼル付きロータリ心土破碎機の心土破碎抵抗

最後に、チゼル付きロータリ心土破碎機の心土破碎抵抗について検討した。チゼルの心土破碎抵抗  $R_c$  (kN) とチゼルの破碎深さ  $D_c$  (m) の関係を図4-11に示す。同図(a)になた爪使用時を示し、同図(b)に直刀爪使用時を示す。図中に回帰式と相関係数を示す。相関係数は、いずれも0.92以上を示し、その相関が高いことがわかる。数値的には、前章の図3-6(a)より大きい。が、 $D_c$  との関数関係は、一致しており、 $R_c$  は  $D_c$  の増加に対し直線回帰する。一項のチゼル単体の  $R_c$  と比較するとロータリ爪のある方の  $R_c$  が小さく、ロータリ破碎爪がチゼルの心土破碎抵抗を減少させることがわかる。ロータリ破碎爪に対しては、なた爪は直刀爪より小さくなっており、なた爪の屈曲部が  $R_c$  の減少に寄与することが伺える。これは、ロータリ破碎爪が、チゼル側面の土壌の壁を破壊するので、チゼル上の土壌の逃げる場所ができ、チゼルの心土破碎抵抗が減少したものと考えられる。ロータリ回転数に対しては、なた爪直刀爪ともロータリ回転数の増加につれ、減少する傾向が見られた。

$R_c$  をチゼルの心土破碎断面積で除したチゼルの心土破碎比抵抗  $R_s$  (kPa) と  $D_c$  (m) との関係を図4-12に示す。同図より、なた爪使用時の関係は、双曲線回帰式に1次回帰式を加えた式で回帰できた。この関係は、前章の図3-6(b)と異なっている。すなわち、前章の図3-6(b)は、双曲線状の減少傾向を示していたからである。

チゼル単体と比較すると、チゼル単体の  $R_c$  は、チゼル付きロータリ心土破碎機を大きくうまわった双曲線回帰に1次回帰を加えた回帰式で近似できた。これは、 $R_c$  が、チゼル単体に比べてチゼル付きロータリ心土破碎機の方が小さかったことによる。

直刀爪使用時の  $D_c$  に対するチゼルの土壌破碎比抵抗  $R_s$  (kPa) の関係は、同図(b)のようになった。ロータリ回転数  $N_1$  速の時は、双曲線回帰に1次回帰を加えた回帰式で近似でき、その他のロータリ回転数では、ロータリ回転数に対し、増加傾向を示した。これは、直刀爪はなた爪のような屈曲部がないので、土壌を排除する効果が低いからと考えられる。

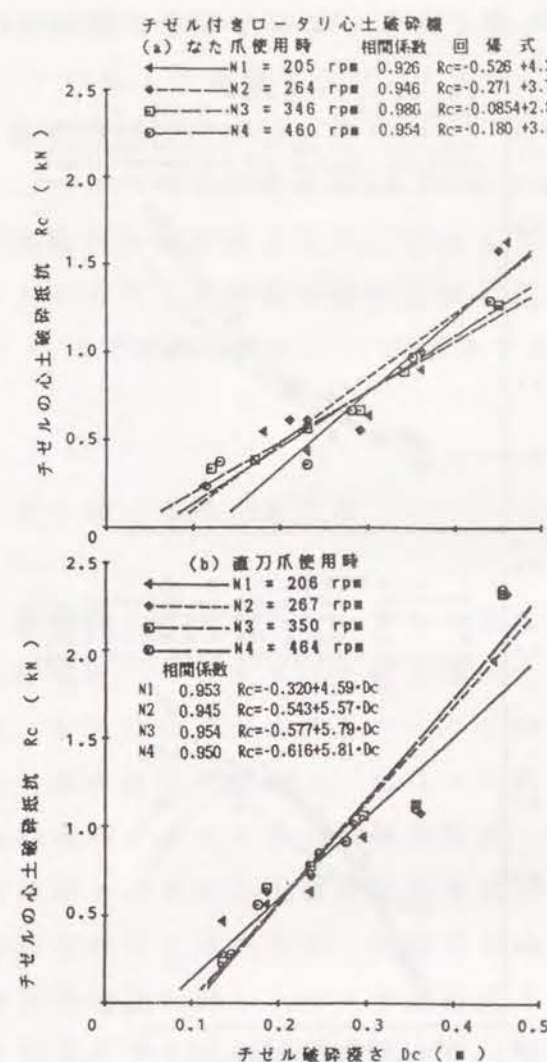


図4-11 心土破碎機のチゼル破碎深さに対するチゼルの心土破碎抵抗

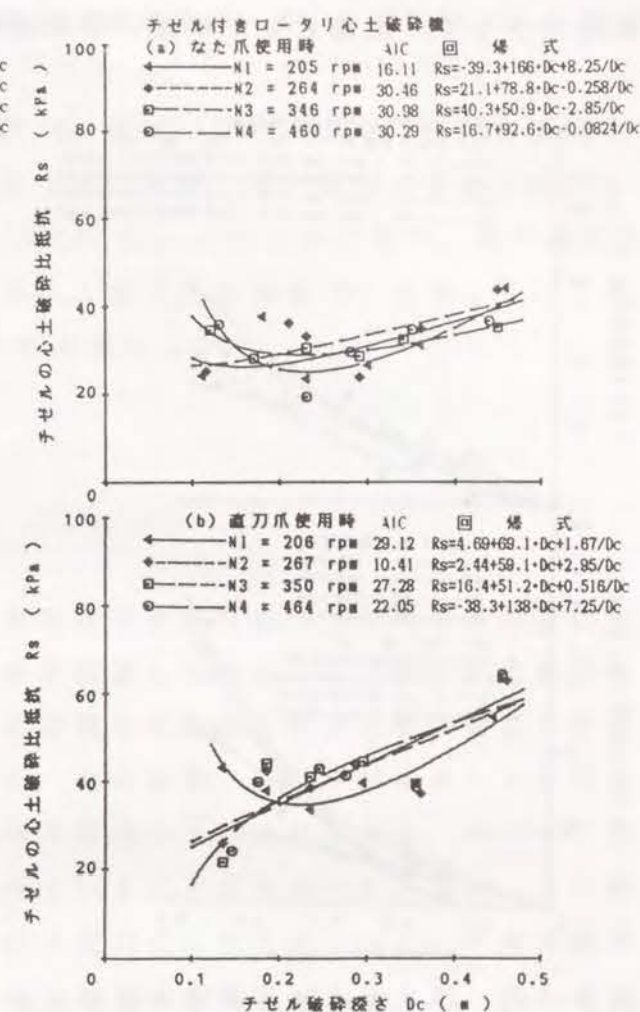


図4-12 心土破碎機のチゼル破碎深さに対するチゼルの心土破碎比抵抗

トラクタ進行低下率  $S$  (%) は、けん引される機械の抵抗に大きく影響を受ける。 $R_c$  は、 $D_c$  の増加とともに、増加するので、 $D_c$  と  $S$  との関係を検討した。 $D_c$  と  $S$  の関係を図4-13に示す。同図より、 $S$  は、なた爪直刀爪とも  $D_c$  の増加につれ、2次曲線状の増加傾向にある。また、ロータリ回転数が速いほど、大きくなる傾向にある。しかし、なた爪使用時は、直刀爪使用時よりその増加傾向が小さくなっていた。これは、 $N_i$  が遅いほど、 $P_i$  が大きくなり、それにつれ、なた爪にある屈曲部の心土破碎反力も大きくなり、この反力がトラクタ全体を前に押し出すような効果、すなわち推進力を発生するからと考えられる。チゼル単体やロータリ回転数の遅い時は、この推進力の発生が低いので、増加



傾向が小さく、直線もしくは緩い増加曲線を描くようになったものと考えられる。

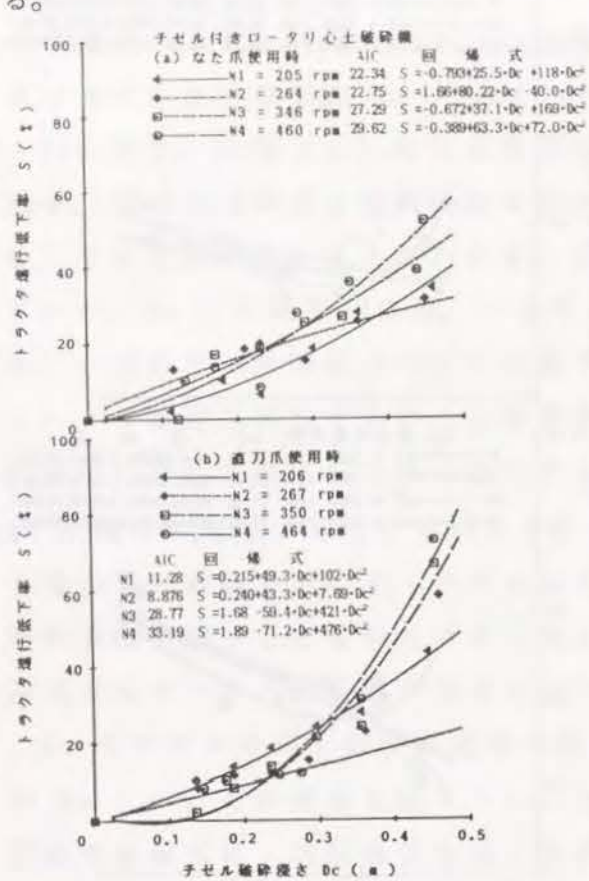


図 4-13 心土破砕機のチゼル破砕深さに対するトラクタ進行低下率

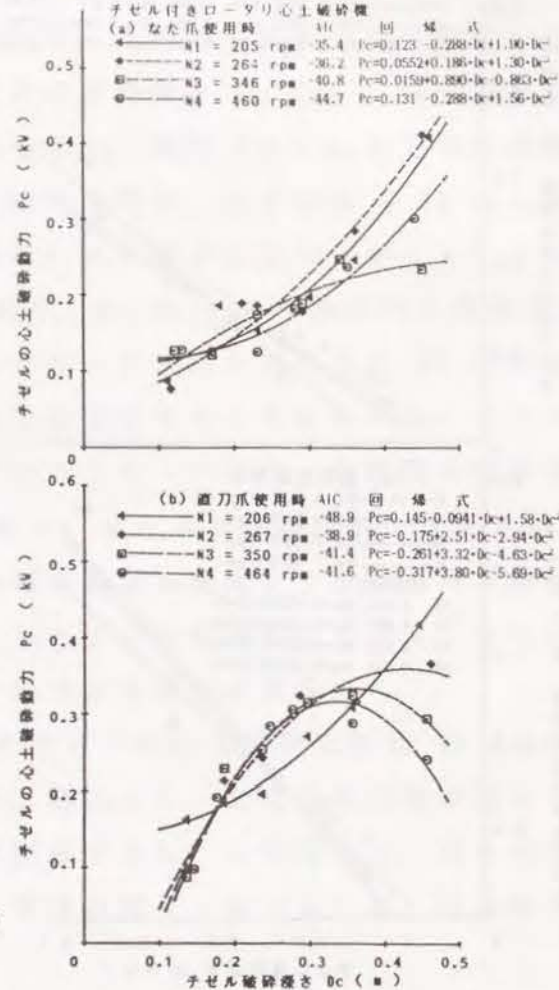


図 4-14 心土破砕機のチゼル破砕深さに対するチゼルの心土破砕動力

$Dc$  (m) に対する  $Pc$  (kW) の関係は、図 4-14 のようになった。同図より、なた爪使用時のロータリ回転数  $N3$  速は、上に凸の 2 次曲線状の増加傾向を示したが、それ以外は、下に凸の 2 次曲線状の増加傾向を示した。前章の図 3-13 (a) では、ロータリ回転数  $N4$  速が、上に凸の 2 次曲線状の増加傾向を示しており、今回のロータリ回転数  $N3$  速が、上に凸の 2 次曲線状の増加傾向を示したことから、ロータリ回転数の速いものが、上に凸の 2 次曲線状の増加傾向を示し勝ちとなることがわかる。ロータリ回転数の遅いものは、両図とも下に凸の 2 次曲線状の増加傾向を示している。 $Rc$  は、前章と大きく異なっていたが、 $Pc$  では、その差が縮まったことがわかる。なお、 $Ni$  の増加で、 $Pc$  が減少

する傾向にあるのは、 $Pc$  が  $Rc$  と  $V$  の積であるから、 $Ni$  の増加が  $Rc$  の減少や  $V$  の低下に影響するためである。

直刀爪使用時の  $Pc$  のロータリ回転数  $N1$  速は、なた爪使用時と同じ傾向を示したが、それ以外は、 $Dc$  が 0.4 m 以上の位置で、最大値をとる上に凸の 2 次曲線状の傾向を示した。このように  $Dc$  が 0.4 m 以上の位置で、最大値をとる上に凸の 2 次曲線状の傾向を示したのは、直刀爪の場合  $Ni$  が速くなっても、 $Rc$  には差が無いのに、 $V$  が増加するためと考えられる。

#### 第 4 節 本章のまとめ

本章は、チゼルとロータリの相互作用を検討するため、チゼル単体での心土破砕抵抗、ロータリ心土破砕機にチゼンを装着した時としない時の心土破砕抵抗、ならびにチゼル付きロータリ心土破砕機になた爪と直刀爪を装着した時の、心土破砕抵抗を計測し、相互に比較した。その結果、チゼル付きロータリ心土破砕機のチゼルの心土破砕抵抗は、チゼル単体のそれより小さく、ロータリ破砕爪がチゼルの心土破砕抵抗を減少させていることがわかった。また、その減少程度はなた爪の方が、屈曲部があるため直刀爪より大きかった。チゼル破砕深さの増加に対しトラクタ進行低下率は、増加する傾向にあったが、なた爪は直刀爪よりその増加率が小さく、なた爪がトラクタの進行を助けている状況が伺えた。これは、なた爪の屈曲部がロータリ破砕トルクを増加させるが、土壌反力を増大させ、トラクタを前へに進ませる推進力を発生させるためと考えられる。

試作機より、チゼンを外した状態における試作機の破砕深さは、約 0.1 m と浅くなった。これは、本試作機のロータリ部がセンタドライブ形式であって、しかもチェーンケース部の幅が 0.056 m と大きかったことによる。

これらの結果より、両者を組み合わせると、それぞれ単独で用いた場合より、作業速度をあまり減らすことなく、限度はあるが心土破砕深さや心土破砕幅を大きくすることができた。また、トラクタの回転エネルギーを心土破砕という有効なエネルギーに変換できるので、トラクタのエネルギー効率を向上させることができる。



## 第1節 はじめに

本研究で試作したチゼル付きロータリ心土破碎機は、ロータリ部とチゼル部とに分けられる。第4章は、ロータリの存在によるチゼルへの影響とチゼルの存在によるロータリへの影響について検討した。本章は、チゼルとロータリの相対的な位置関係について検討することにした。すなわち、チゼル付きロータリ心土破碎機のロータリ部に対しチゼルの位置を前後3段、上下5段変化させ、その時のチゼルの心土破碎抵抗とロータリ破碎トルクを計測し、それらを比較検討した。なお、本章の実験は、ロータリ破碎深さが0.2 mとなるように耕深調節用接地輪を調節し、さらに第3章での結果を考慮し、ロータリ回転数をN1速(平均 213.2 rpm)とし、トラクタ前進速度はV1速(平均 0.258 m/s)に固定して実験した。チゼルのチゼル幅は、幅  $B_c = 0.075$  m についてのみ検討した。

## 第2節 実験装置と実験方法

供試チゼル付きロータリ心土破碎機は、第2章で述べた心土破碎機である。供試ロータリ破碎爪は、前章までの検討よりなた爪を用いた。そして、第1節で述べたようにチゼルとロータリ破碎爪との配列位置関係について検討した。なお、実験は、ロータリ破碎爪取り付けホルダー付き円形フランジが2個取り付けられたロータリ破碎軸を用いて実験した。図5-1にチゼルとロータリ破碎軸回転中心との位置関係を示す。この図で示すようにロータリ部に対しチゼルの位置が前後3段上下5段に変化させることができ、上下位置前後位置ともその調節幅は0.022 mである。チゼルの垂直取り付け位置は、本体に3列、チゼル側に3列の取り付け穴を設けた。チゼルの水平取り付け位置は、本体に3列取り付けられるように穴を設けた。ただし、最もチゼルに近い位置の上方、すなわちH3 V1, H3 V2は、チゼル取り付けのための余地がなく、取り付け不能であった。また、第4章までのチゼルとロータリとの相互位置配列は、H1 V3の位置である。

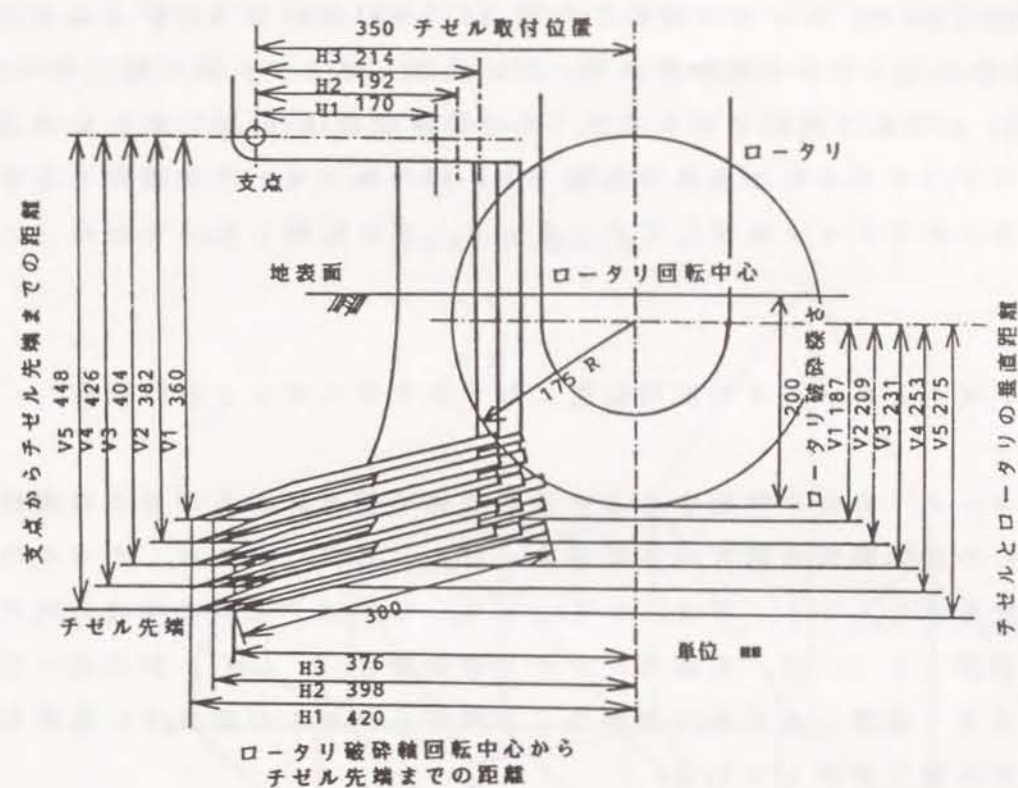


図5-1 チゼルとロータリの配列位置

作業条件は、ロータリ回転数をN1速の1段(平均 213.2 rpm)のみで、トラクタ前進速度は、低速段V1速の1速のみ(平均 0.258 m/s)で行った。

供試ほ場は、鳥大学附属農場の畑専用の一般的なほ場で、図5-2にはほ場内の土壌硬度線図ならびに、含水比、湿潤密度、土性を示す。なお、土壌硬度線図は、各貫入深さで山中式土壌硬度計を用い3点実測し平均したものを図示した。図より0.15 m

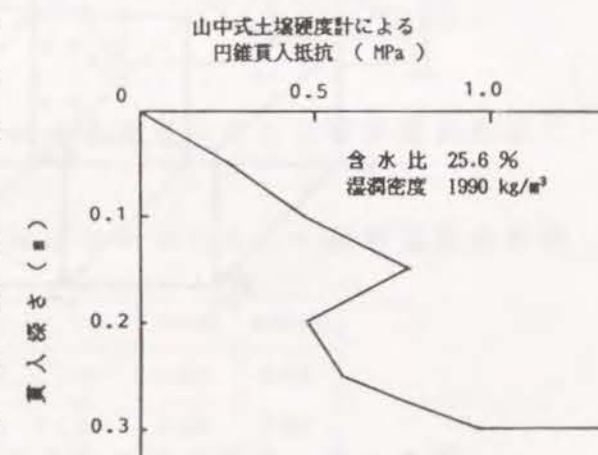


図5-2 供試ほ場の土壌硬度

付近に0.7 MPa程度の硬化層が存在しており、さらに硬い心土が、ほぼ0.3 m付近に存在することがわかる。本ほ場の土性は、砂質ロームである。計測項目の内ロータリ破碎トルク  $T_r$  (N・m)は、第3章と同様ストレンメータを介してデータレコーダに記録した。ロータリ破碎比トルク  $T_s$  ( $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}^2$ )は、(3-6)式により計算した。ロータリ破碎動力  $P_r$



(kW)は、(2-1)式で、ロータリ破碎比仕事  $P_s$  ( $\text{kW} \cdot \text{s}/\text{m}^3 = \text{kJ}/\text{m}^3$ )は、(3-10)式により求めた。チゼル破碎深さ  $D_c$  (m)は、ロータリ部に対しチゼルの位置を 0.022 m の幅で調節できるので、その破碎深さは 0.187 m から 0.275 m の範囲となる。チゼルの心土破碎抵抗  $R_c$  (kN)は、ロータリ破碎トルクの計測と同様ストレンメータを介してデータレコーダに記録した。

### 第3節 チゼルとロータリの配列位置に対するチゼルの心土破碎抵抗

チゼルとロータリ破碎爪回転中心との位置関係の相違によるチゼルの破碎深さ  $D_c$  (m)の立体線図を図5-3に示す。H1, H2, H3は、チゼルの水平方向の変位を示し、V1, V2, V3, V4, V5はチゼルの垂直方向の変位を示す。同図より  $D_c$  は、実験をロータリ破碎深さ  $D_r$  (m)がほぼ一定の 0.2 m になるよう設定したため、当然のことながらチゼルの取り付け位置の上下により一定の値で変化している。

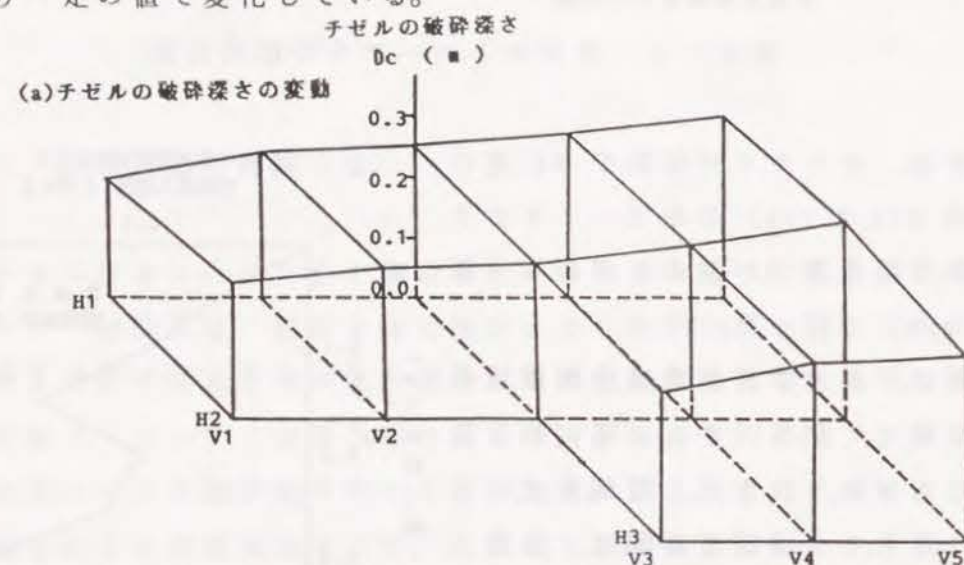


図5-3 チゼルとロータリの配置位置によるチゼル破碎深さの変化

チゼルとロータリ破碎爪回転中心との位置関係の相違によるチゼルの心土破碎抵抗  $R_c$  (kN)の立体線図を図5-4に示す。 $R_c$ は、第3章で述べたように  $D_c$ の増加に伴い増加する傾向にあり、本実験でも同様の傾向が認められた。しかし、チゼルが、ロータリから水平方向に離れると、 $R_c$ は大きくなる傾向にあった。チゼルの取り付け位置による影響を詳細に検討するため、 $R_c$ の取り付

け位置による大小関係表を求めた。それを表5-1に示す。表中の数値は、 $R_c$ で、単位は(kN)である。同表より、最も浅い位置のH2 V1と中間のH3 V4以外の  $D_c$ では、 $D_c$ が深くなるほど大きくなっている。また、最も浅い位置のH1 V1以外は、チゼルがロータリに近づくほど  $R_c$ は小さくなる傾向のあることがわかる。

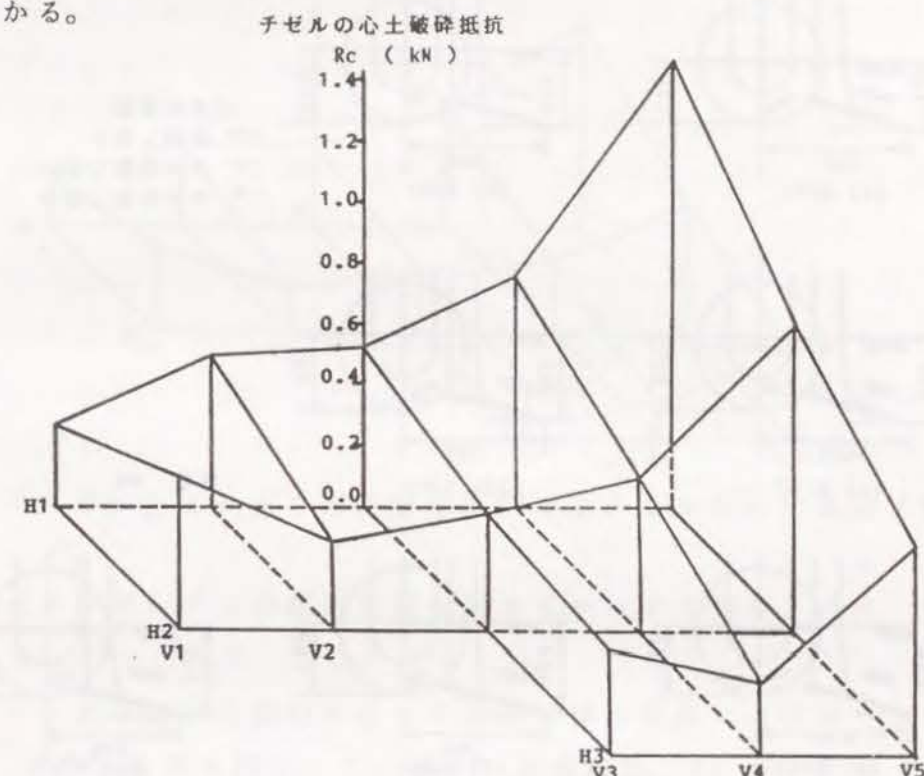


図5-4 チゼルとロータリの配置位置によるチゼルの心土破碎抵抗の変化

表5-1 チゼルとロータリの配置位置によるチゼルの心土破碎抵抗の変動

配列位置	V1	V2	V3	V4	V5	平均値	変動係数
H1	0.274	< 0.500	< 0.523	< 0.745	< 1.44	0.697	0.575
H2	0.504	> 0.290	< 0.383	< 0.492	< 1.01	0.536	0.603
H3	-	-	0.333	> 0.228	< 0.676	0.412	0.464
平均値	0.389	0.395	0.413	0.488	1.04	0.569	0.573
変動係数	0.296	0.266	0.195	0.432	0.300		

これは、図5-5を参照すればわかるようにロータリ破碎爪が、チゼル上の心土を排除するよう効果とチゼルが作成した側壁での破碎土の摩擦に起因すると考えられる側圧をロータリが破碎するためと考えられる。図5-4中の矢印



は、心土の移動を示し、太い矢印は心土の流れが円滑であることを示す。細い矢印や一点鎖線矢印となるにつれ、心土の流れが悪くなるものと推察される。

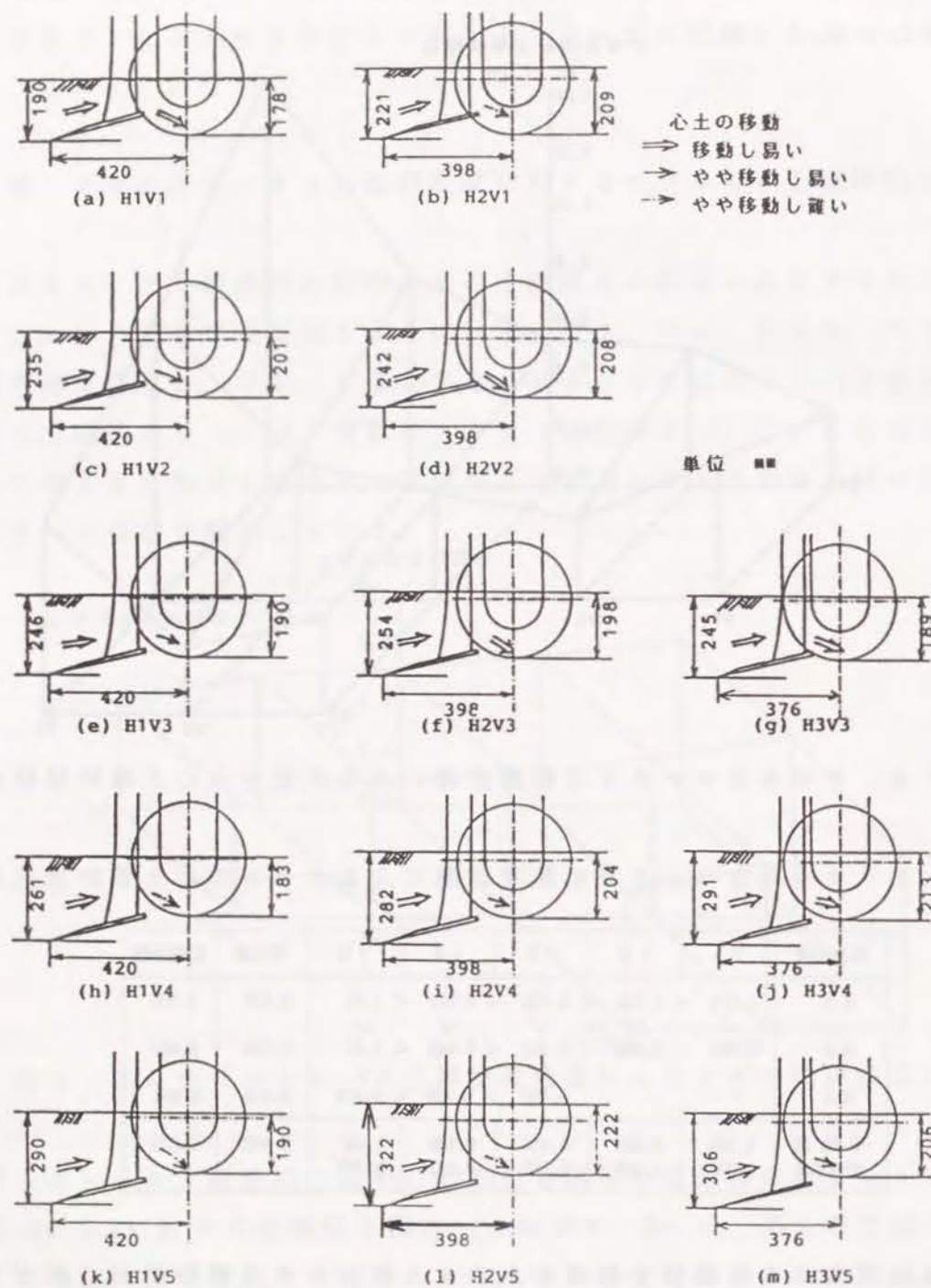


図 5 - 5 チゼルとロータリの配置位置による心土の移動

次に、チゼルの破碎投影断面積でチゼルの心土破碎抵抗を除いたチゼルの心土破碎比抵抗  $R_s$  (kPa) の立体線図を図 5 - 6 に示す。同図より、 $R_c$  である図 5 - 4 と同様の傾向を示している。なお、大小関係の順序は、表 5 - 1 の  $R_c$  と同じであった。チゼルの心土破碎比抵抗

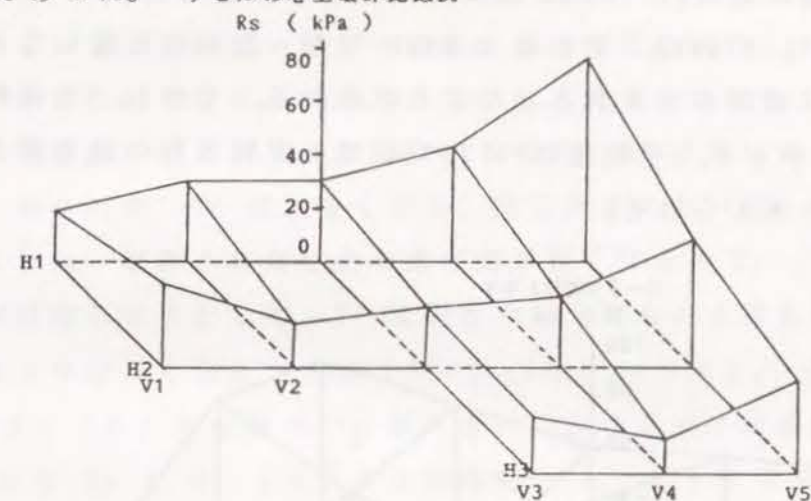


図 5 - 6 チゼルとロータリの配置位置によるチゼルの心土破碎比抵抗の変化

#### 第 4 節 チゼルとロータリの配列位置に対するロータリ破碎トルク

チゼルとロータリ破碎爪回転中心との位置関係の相違によるロータリ破碎深さの変化をの立体線図を図 5 - 7 に示す。本実験は、 $D_r$  が一定の 0.2 m になるよう耕深調節用接地輪を設定して実験を計画したが、V1 の位置の平均が 0.194 m と V3 の位置が 0.192 m と若干浅く、V2 と V5 の位置の平均が、そ

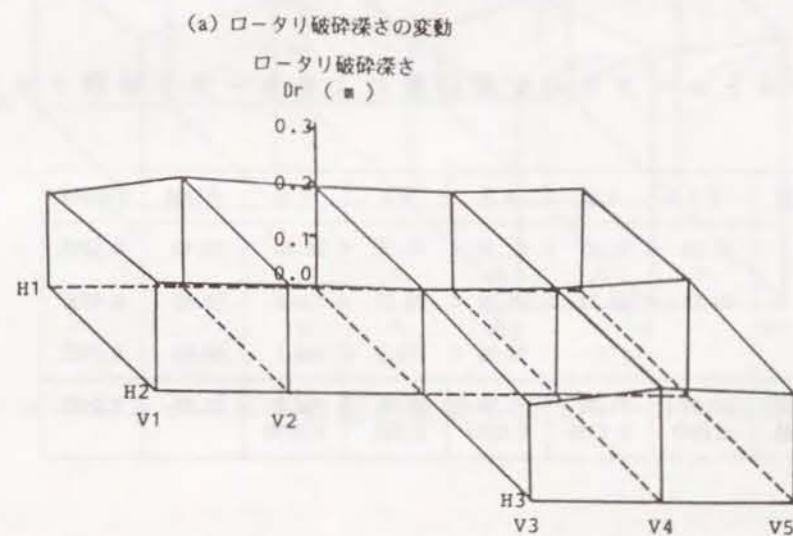


図 5 - 7 チゼルとロータリの配置位置によるロータリ破碎深さの変化



れぞれ 0.204 m と 0.206 m と若干深かった。V 4 の位置の平均は 0.20 m であった。水平位置では、H 1 の位置の平均が 0.188 m と浅く、H 2 の位置の平均が 0.208 m と若干深かった。H 3 の平均は 0.202 m で平均付近であった。浅い位置 V 1 の変動係数は 0.754 と他の深さ（V 2 の変動係数は 0.0157, V 3 は 0.0174, V 4 は 0.0452, V 5 は 0.0430 であった）に比較して大きく、この位置での深さにはばらつきがあったことがわかる。しかし、全体的に見れば、Dr のばらつきは小さく、平均値は 0.199 m で、実験条件の設定深さにほぼ納まっていたものと考えられる。

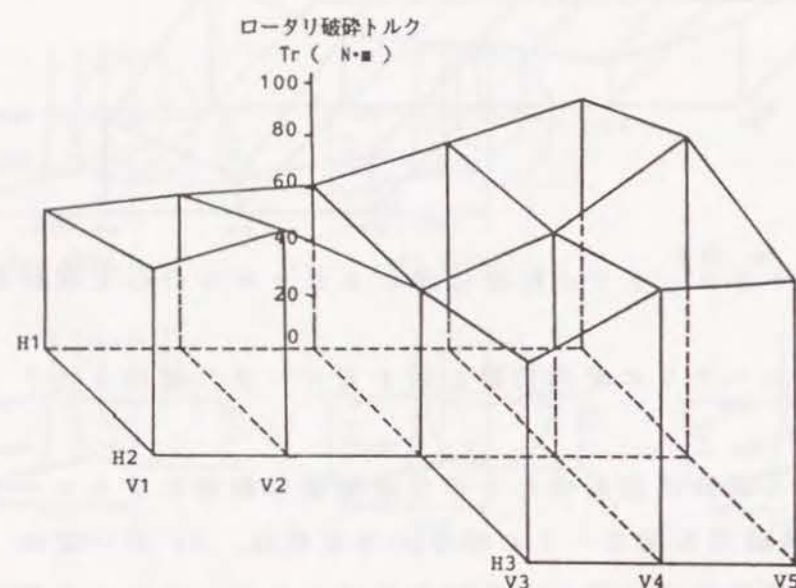


図 5 - 8 チゼルとロータリの配置位置によるロータリ破碎トルクの変化

表 5 - 2 チゼルとロータリの配置位置によるロータリ破碎トルクの変化

配列位置	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	平均値	変動係数
H 1	51.12	< 58.83	< 61.19	< 76.58	< 94.36	68.42	0.2248
H 2	69.83	< 83.72	> 63.28	< 82.73	< 119.6	83.85	0.4630
H 3	-	-	74.36	< 103.9	< 106.1	94.80	0.1527
平均値	60.48	71.28	66.28	87.74	106.7	80.44	0.2467
変動係数	0.1547	0.1746	0.0872	0.133	0.0970		

チゼルとロータリ破碎爪回転中心との位置関係の相違によるロータリ破碎トルク  $T_r$  (N·m) の立体線図を図 5 - 8 に示す。 $T_r$  は、 $D_r$  に大きく影響を受けることは、第 3 章の結果によっても明らかである。本実験での  $D_r$  を一定と考えると、 $T_r$  は同じ値となるべきであるが、図 5 - 8 と表 5 - 2 より  $T_r$  は大きく変動している。これは、図 5 - 5 で示した心土の流れとチゼルの破碎範囲の影響を受けるためと考えられる。すなわち、チゼルが持ち上げたすき底部分の硬い心土（耕盤）をロータリが破碎するのと、 $D_r$  が深いほど破碎する心土の量が大きくなるので、 $T_r$  は大きくなる。同じ深さにおいて、チゼルがロータリに近づくにつれ、破碎された心土の逃げ道が狭くなるので、この心土をロータリ破碎爪が排除しようとして、 $T_r$  は大きくなったものと考えられる。チゼルがロータリにより近づく図 5 - 4 の (b), (d), (f), (g) の位置の  $T_r$  なかんづく (d) の位置の  $T_r$  が大きいことでこのことが伺える。

次に、 $T_r$  を  $D_r$  と  $B_r$  (ロータリ破碎幅 = 0.204 m) との積であるロータリ破碎断面積で除したロータリ破碎比トルク  $T_s$  ( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ ) の立体線図を図 5 - 9 に示す。同図より、 $T_s$  は、 $T_r$  とほぼ同じ傾向を示した。また、同図より H 2 V 3 の位置の値が小さく、ここが谷となることがわかる。

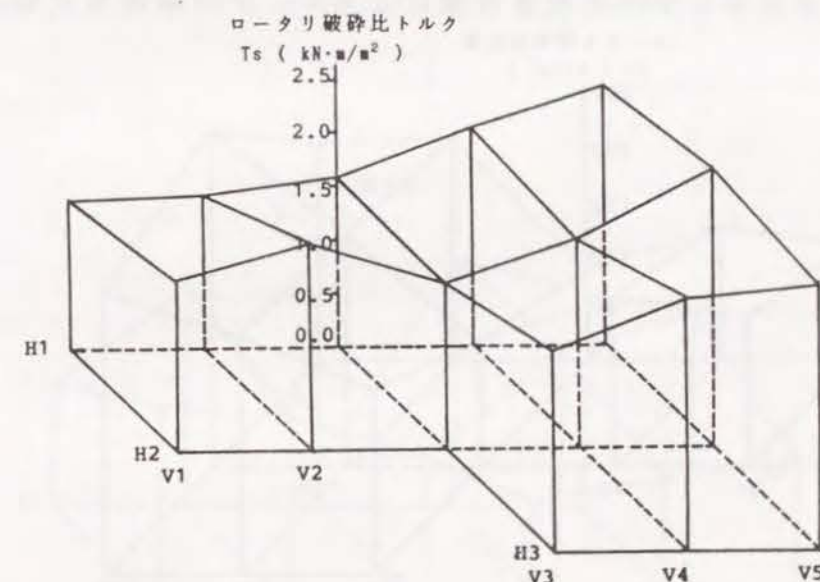


図 5 - 9 チゼルとロータリの配置位置によるロータリ破碎比トルクの変化



## 第5節 チゼルとロータリの配列位置に対するロータリ破碎所要動力

チゼルとロータリ破碎爪回転中心との位置関係の相違によるロータリ破碎所要動力  $Pr$  (kW) の立体線図を図5-10に示す。 $Pr$  は  $Tr$  と  $Ni$  (ロータリ回転数) から計算できるので、当然のことながら  $Tr$  と同じ傾向を示す。

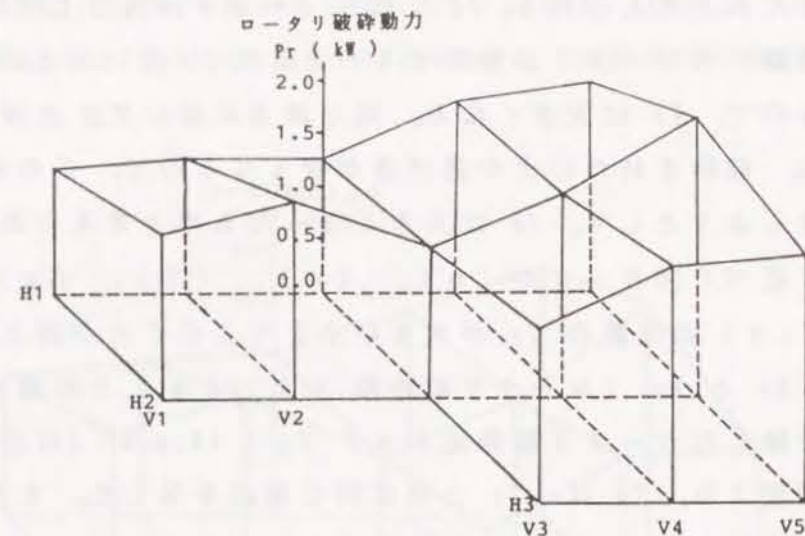


図5-10 チゼルとロータリの配置位置によるロータリ破碎所要動力の変化

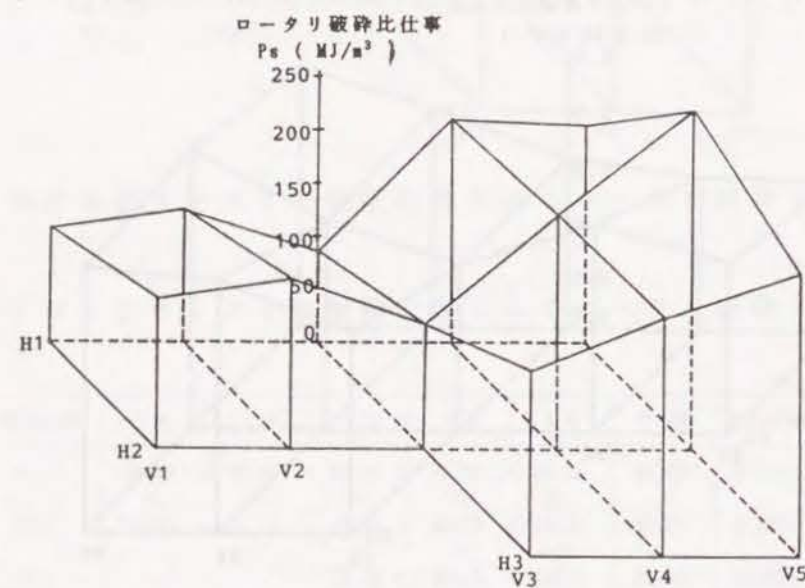


図5-8 チゼルとロータリの配置位置によるロータリ破碎比仕事の変化

また、ロータリ破碎比仕事  $Ps$  ( $MW \cdot s/m^3 = MJ/m^3$ ) は、 $Pr$  を単位時間当りの破碎体積で除して求められるので、基本的には  $Tr$  に類似している。その立

体線図を図5-11に示す。この時、 $H2V2$ ,  $H3V4$ ,  $H2V5$  は山となり、 $H1V1$ ,  $H1V3$ ,  $H1V5$  は谷となった。さらに、 $H1V3$  の位置の値が最も小さくなった。第2章から第4章までの実験は、この  $V3H1$  で検討を行っていたが、この位置は  $Ps$  が最も小さい位置であったことになる。

## 第6節 チゼルとロータリの配列位置に対する 試作ロータリ心土破碎機の全所要動力

チゼル付きロータリ心土破碎機の全所要動力  $Pt$  (kW) は、チゼルの心土破碎所要動力  $Pc$  (kW) とロータリ破碎動力  $Pr$  (kW) の和として表わされる。また、 $Pc$  は(2-1)式に示すように  $Rc$  とトラクタ前進速度  $V$  (m/s) の積で計算される。そこで、まず、トラクタ前進速度について検討することにした。

トラクタ前進速度を直接に扱わず、トラクタ進行低下率  $S$  (%) にして、検討した。トラクタ進行低下率  $S$  (%) は、

$$S = 100 \cdot (V - V_0) / V_0 \quad (4-1)$$

である。

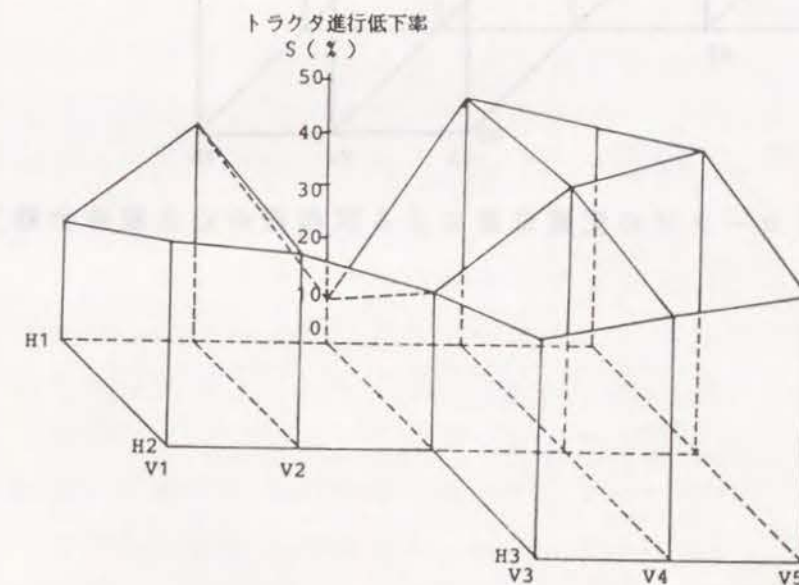


図5-12 チゼルとロータリの配置位置によるトラクタ進行低下率の変化



ここで、 $V_0$  は、無負荷時のトラクタ前進速度で、 $V$  は、実験時のトラクタ前進速度である。この  $S$  の立体線図を図 5-12 に示す。同図より、 $S$  の最も小さいところは  $H_1 V_3$  で、最も大きいところは  $H_2 V_5$  であった。一般的な傾向としては、 $D_c$  の深いものほど  $S$  は大きくなり、ロータリ部から遠ざかるほど大きくなるようである。ロータリ部のチェーンケース周辺部の  $S$  は、低下する傾向にある。これは、チェーンケース周辺部近辺の  $R_c$  が、ロータリ破碎爪によって減少する傾向にあることと、ロータリ破碎爪が発生させる前進力が大きくなることによるものと考えられる。

$P_c$  は、基本的には  $R_c$  と同じ傾向となる。チゼル付きロータリ心土破碎機的全動力の立体線図は、図 5-13 のようになり、ほぼ  $P_r$  の傾向と一致した。これは、 $P_c$  に比べ  $P_r$  が大きいためで、第 4 章までの傾向と一致する。

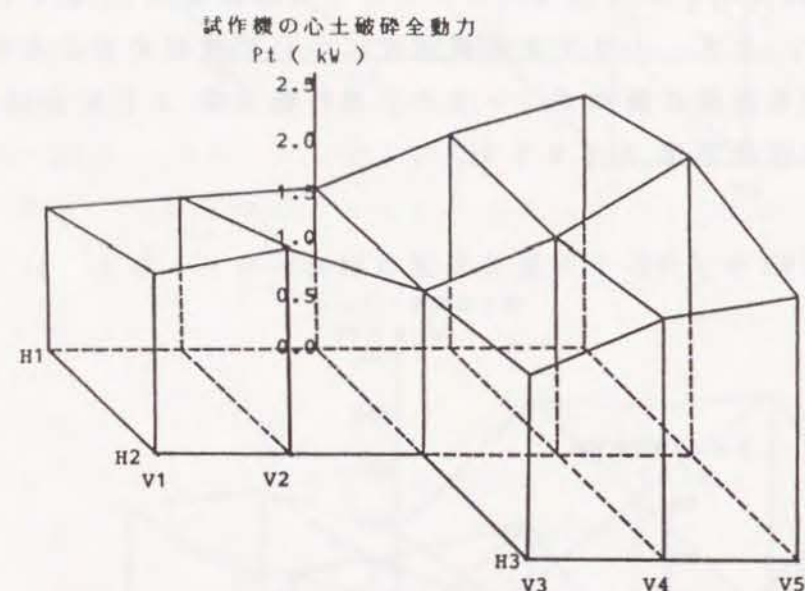


図 5-10 チゼルとロータリの配置位置による試作機的心土破碎全動力の変化

## 第 7 節 本章のまとめ

本章ではチゼルとロータリの配列位置によるチゼルの心土破碎抵抗ならびにロータリ破碎トルクについて検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

1. チゼルの心土破碎抵抗は、チゼルとロータリの間を狭くするほど小さくなった。これは、ロータリ破碎爪がチゼル上の心土を排除するとともに、チゼルが作成した側壁を破壊するためと考えられる。
2. チゼル破碎深さが深いほど、硬い心土とより多くの土量をロータリの位置まで持ち上げるので、ロータリ破碎トルクは大きくなった。
3. チゼルとロータリの間が狭いほど、ロータリ破碎爪はチゼルとロータリのチェーンケースに挟まれた位置に滞留している心土を排除しようとするため、ロータリ破碎トルクを大きくさせる傾向にあった。
4. チゼルの心土破碎抵抗とロータリ破碎トルクならびに全所要動力を考慮すれば、心土の流れが円滑な  $V_3$  の位置が望ましく、 $H_1 V_3$ 、 $H_2 V_3$  が最適と考えられる。すなわち、チゼル先端とロータリ破碎軸回転中心との距離を  $0.231 \text{ m}$  とすることが良く、しかもロータリに近づけることが好ましかった。

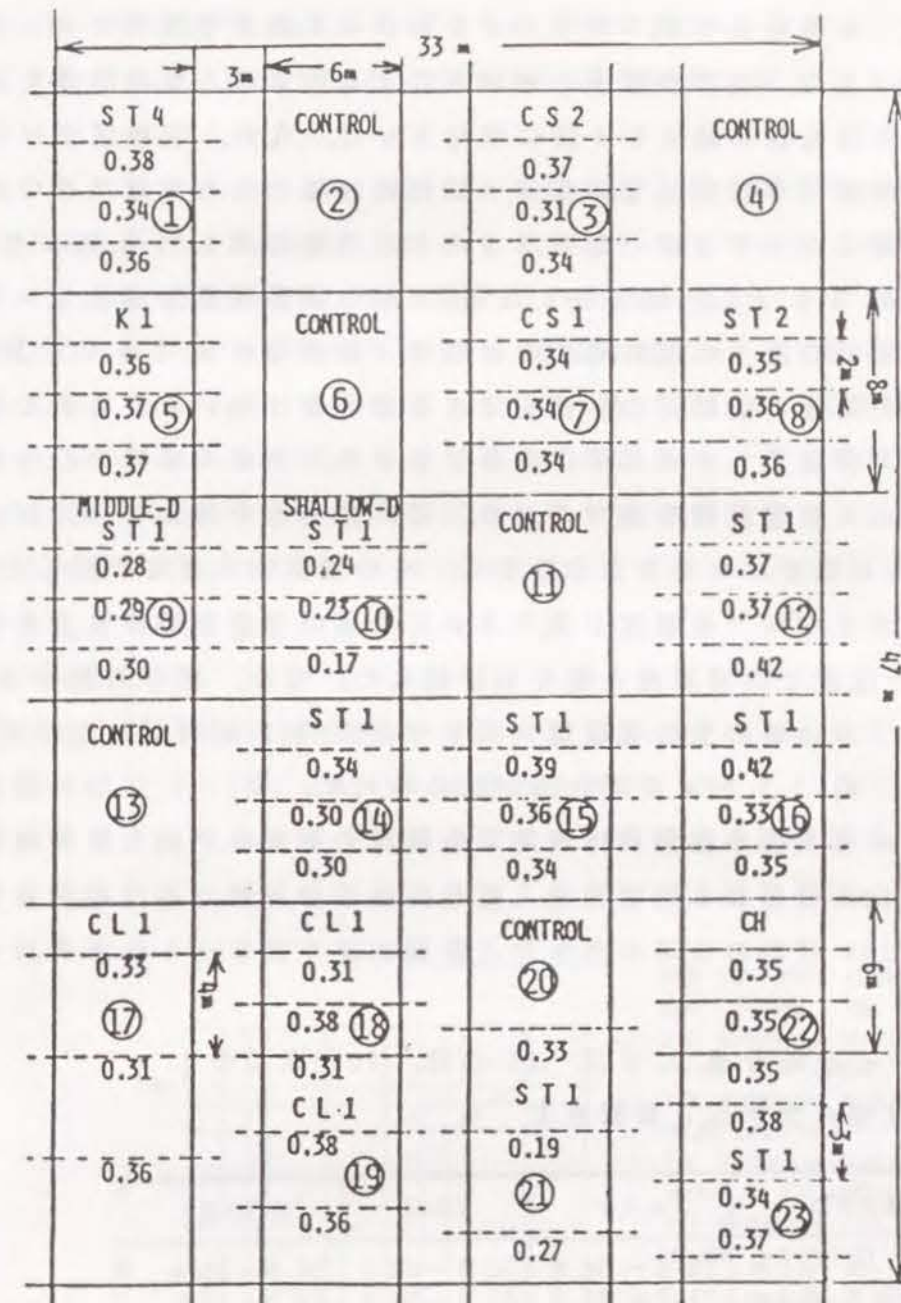


### 第1節 シリンダインテークレート試験

本章は、試作チゼル付きロータリ心土破碎機の利用効果として、シリンダインテークレート試験による水の積算浸入量を調査検討した。

ほ場のかんがい・排水性能を計測する場合、農業土木学の分野では透水試験が、一般的であるが、本研究では現場でしかも数多くの実験区を設定しなければならないので、透水試験を簡略化し、シリンダインテークレート法<sup>86,87)</sup>を用いることにした。この方法は、シリンダの周りに土堤を築き、その土堤内に水を張ることにより緩衝ダメを作り計測するものである<sup>88)</sup>。予備実験として、シリンダの周りに土堤を築き、その土堤内に水を張って積算浸入量を計測したところ、破碎直上のため緩衝ダメ内の水は直ちに浸透し、その役目を果たすことができなかった。そこで、本実験では、土堤を省略し、直接シリンダを土中に埋設した。また、土中にシリンダを埋め込むので、土壌を荒すことになるが、できるだけ心土破碎機による破碎状態を乱さないようにするため、シリンダ下端を浅く埋設(0.1 mの深さに)した。

試験は場として鳥取大学附属農場の畑専用ほ場を用い、各種条件下において試作チゼル付きロータリ心土破碎機ならびにチゼル単体で心土を破碎し、心土破碎直上に直径0.16 m高さ0.25 mの鉄製のシリンダを埋設し、シリンダインテークレート法による水の積算浸入量を計測した。ほ場は、南北50 m東西40 mのほ場で、図6-1に示すような23の実験区を設けた。このように多くの実験区を設定したのは、最適な心土破碎条件の把握とその心土破碎持続効果を判定するためである。実験区は、実験計画法に基づき各種実験をブロック化して設定した。対照区として心土破碎を行わなかった無処理(4, 6, 11, 13, 20)とチゼル単体で心土を破碎した区(実験区22)を設定した。チゼル付きロータリ心土破碎機での実験として、ロータリ破碎爪の種類(直刀爪、ナイフ爪、大小のなた爪)を変化させたものと、直刀爪に対してはその破碎深さと破碎幅を変化させたものについて、給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係を調査した<sup>15,57)</sup>。図6-1中のロータリ破碎爪取り付けフランジ数というのは、ロータリ軸に取り付けた円形のフランジの数で、1つのフランジに4本のロータリ破碎爪が取り付けられるようになっているものである。フランジ



- 注 1) 丸付き数字は実験番号を表す。  
 2) 記号の意味  
 CONTROL: 無処理区 CH: チゼル形サブソイラ破碎区  
 ST: ロータリ回転半径0.12 mの直刀づめ装着時の心土破碎機破碎区  
 K: ロータリ回転半径0.12 mのナイフづめ装着時の心土破碎機破碎区  
 CS: ロータリ回転半径0.12 mのC形なたづめ装着時の心土破碎機破碎区  
 CL: ロータリ回転半径0.175 mのC形なたづめ装着時の心土破碎機破碎区  
 3) 記号の後の数字はロータリ耕うんづめ取り付けフランジの数を表し、  
 ロータリづめの取り付け本数はこの数を2倍したものとなる。  
 4) 実験区の周りはチゼル形サブソイラのみを使用して囲んだ。  
 5) 小数2桁で示した数字は作用深さを表す。

図6-1 インテークレート試験ほ場の各種実験区の配置



の間は 0.04 m で、本実験のため、フランジ 1 個から 4 個まで付けたロータリ  
 破碎軸を用意した。また、破碎土粒子の細かさによる積算浸入量の相違を調査  
 するため、ロータリ回転数の速さを 4 段に変化させた。なお、実験区 2 は当初  
 なた爪小 4 本での実験区を設定していたが、試作機故障のため実験できなかった。  
 実験は、試作機によってほぼ一定の深さの 3 本の処理溝を 2 m 毎に作成し  
 た。その溝の長さは 6 m とし、横方向には幅 3 m の緩衝区を設けた。シリン  
 ダ埋設位置は、心土破碎直上の破碎溝のほぼ中央（破碎端から 3 m の位置）で  
 ある。実験区の周りは他の実験区の影響をできるだけ受けないようにするため、  
 最も深くなるように設定したチゼル単体を牽引させた。チゼル単体で心土を破  
 碎した区ではチゼルの影響範囲を調べるため、破碎直上とそれより 0.25 m な  
 らびに 0.5 m 離れた位置にシリンダを設置し、その積算浸入量を計測した。ま  
 た、直刀爪使用区の 2 ヶ所（実験区 15、16）において心土破碎直上とそれ  
 より 0.5 m 離れた位置での積算浸入量をも計測した。なお、図中の数字は土壌  
 の破碎深さを示す。本ほ場の土性は砂質ロームで深さ 0.2 m 付近に山中式土壌  
 硬度計で計測して、約 2.0 MPa の硬化層が認められた。

土壌における水の浸入排水性能の持続効果を検討するため、心土破碎処理後  
 4日目、22日目、203日目の3回積算浸入量の計測を行った。心土破碎処理後  
 4日目、22日目、203日目のほ場の含水比と湿潤密度を表6-1に示す。

表6-1 心土破碎後4日目、22日目、203日目の  
 ほ場の含水比と湿潤密度

破碎処理後の日数			4日目	22日目	203日目
含水比 % d. b.	表面	0.0 m	26.6 ~ 38.8	30.5 ~ 40.0	25.6 ~ 35.8
	地表面下	0.2 m	21.7 ~ 42.3	33.2 ~ 39.8	22.3 ~ 40.5
湿潤密度 kg/m <sup>3</sup>	表面	0.0 m	1044 ~ 1076	1063 ~ 1082	1036 ~ 1094
	地表面下	0.2 m	1074 ~ 1201	1083 ~ 1153	1051 ~ 1156

## 第2節 試作チゼル付きロータリ心土破碎機による

### 心土破碎地の給水開始後の経過時間と積算浸入量の変化

シリンダインテークプレート法による積算浸入量の計測結果の例として、ロー  
 タリ回転半径 0.12 m の直刀爪を 2 本装着したチゼル付きロータリ心土破碎機  
 の給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係を図6-2に示す。同図は実験条  
 件として、ロータリ回転数を 4 段（実験番号 14：N1速 206 rpm、実験番号  
 16：N2速 267 rpm、実験番号 15：N3速 350 rpm、実験番号 12：N4速  
 462 rpm）に変化させた時のものである。同図より、最も積算浸入量が大きかっ  
 たものは、ロータリ回転数 N4 速のものであり、ついで N2 速と N3 速である。  
 積算浸入量が最も小さかったものは、N1 速であった。農業土木の水文かんがい  
 分野では、この積算浸入量を次の式で表している<sup>86,87)</sup>。

$$I_w = C_w \cdot T^{n_w} \quad (6-1)$$

ここで、 $I_w$  は給水開始後 T 分間の積算浸入量（mm）を、T は給水開始後  
 の経過時間（分）を、 $C_w$ 、 $n_w$  は定数を表す。

図6-2の各種の線図はこの式により、実験式を計算したもので、図より線  
 図は給水開始後の経過時間と積算浸入量に対する関係をよく表わしていると思  
 えられる。

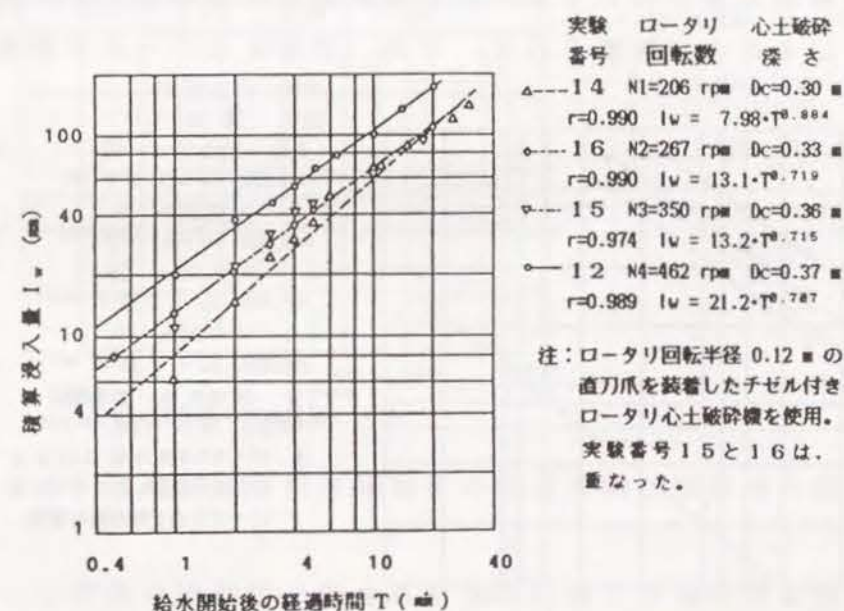


図6-2 試作心土破碎機によるロータリ回転速度の  
 変更に対する給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係



図6-2より、最も積算浸入量の大きかった実験番号12はロータリ回転数が速く、しかも破碎深さも深いので、積算浸入量が多くなったと考えられる。ロータリ回転数 N3 速の回帰式は N2 速のそれとほぼ同じになった。N3 速は N2 速より速くて深いにもかかわらず、このようになったのは、実験誤差で、実際はロータリ回転数の影響より心土破碎深さの影響の方が大きいように思われる。そこで、チゼル付きロータリ心土破碎機に直刀爪を使用し、その心土破碎深さを変化させた時の給水開始後の経過時間と積算浸入量を調べた。その関係を図6-3に示す。同図より、心土破碎深さの深いもの(実験番号12: 心土破碎深さ 0.37 m)の積算浸入量が最も大きく、次いで心土破碎深さが中程度のもの(実験番号9: 心土破碎深さ 0.29 m)、さらに心土の破碎の浅いもの(実験番号21: 心土破碎深さ 0.19 m)の順となる。最も小さいものは、心土を破碎していない無処理区のものであった。このことより、心土が深く破碎されるにつれ、水がよく浸透し、一方心土が破碎されていない無処理区では、その積算浸入量が少なく、心土層に水を容易に浸透させない硬化層の存在が推察される。なお、実験区12, 9, 21, 20の回帰式の累乗係数はほぼ同じで、心土の破碎深さにより Y 切片が変化していた。実験14の給水開始後の経過時間20分後の積算浸入量は、中程度の深さのもの(実験番号9)とほぼ同じであり、これから積算浸入量に対しては、心土破碎深さの方がロータリ回転数より大きく影響していることが推察される。なお、実験9のロータリ回転数段は実

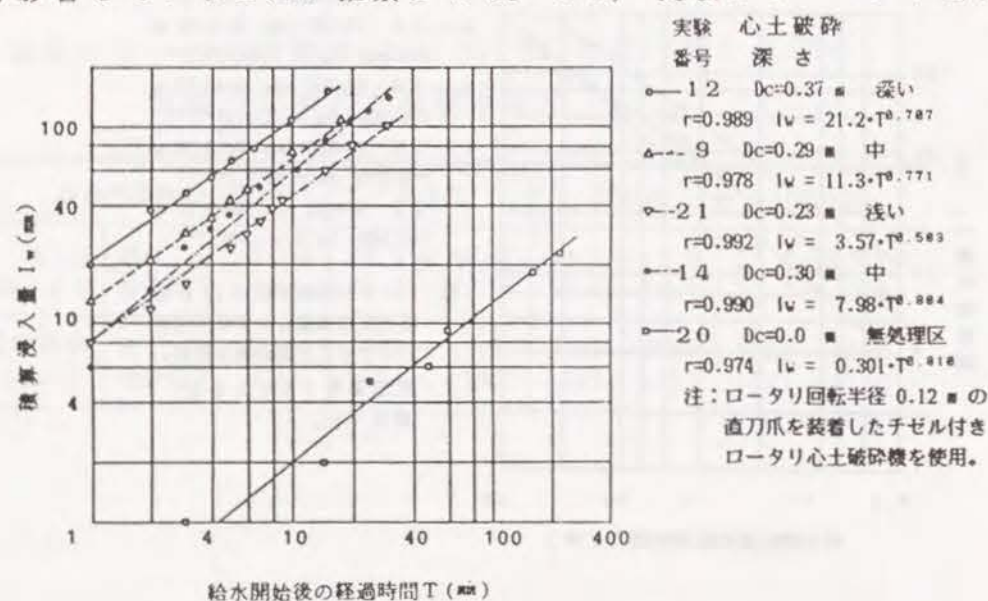


図6-3 試作心土破碎機による心土破碎深さに対する  
給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係

験14と同じである。

無処理区の実験区は図6-1に示すように5ヶ所あるが、本図には平均的な線図(実験20)を選んだ。無処理区の給水開始後の経過時間と積算浸入量を図6-4に示す。図より、実験番号4と6は積算浸入量が比較的多かったが、心土破碎処理を行った実験区ほど大きくないことがわかる。一方、無処理区11と13は水の浸入がほとんどなく、硬化層が健全であることが推察される。試みに、無処理区の心土破碎を破碎深さ  $D_c = 0$  m と考え、試作機にロータリ破碎爪の深さを  $D_c = 0.20$  m,  $D_c = 0.30$  m,  $D_c = 0.35$  m 以上の4水準に分割した時の20分間の積算浸入量に対し分散分析を行った。分散分析結果より、有意水準1%で帰無仮説は棄却され、母平均は等しくなく、因子間に差があるとの知見を得た。よって、心土破碎による効果が存在するものと考えられる。なお、心土破碎深さ  $D_c = 0.20$  m の実験として、10と21の2ヶ所の結果を選び、心土破碎深さ  $D_c = 0.30$  m の実験として、7, 9, 14, 16, 17の5ヶ所の結果を、心土破碎深さ  $D_c = 0.35$  m 以上の実験として、5, 12, 15, 18, 19の5ヶ所の結果を選んだ。

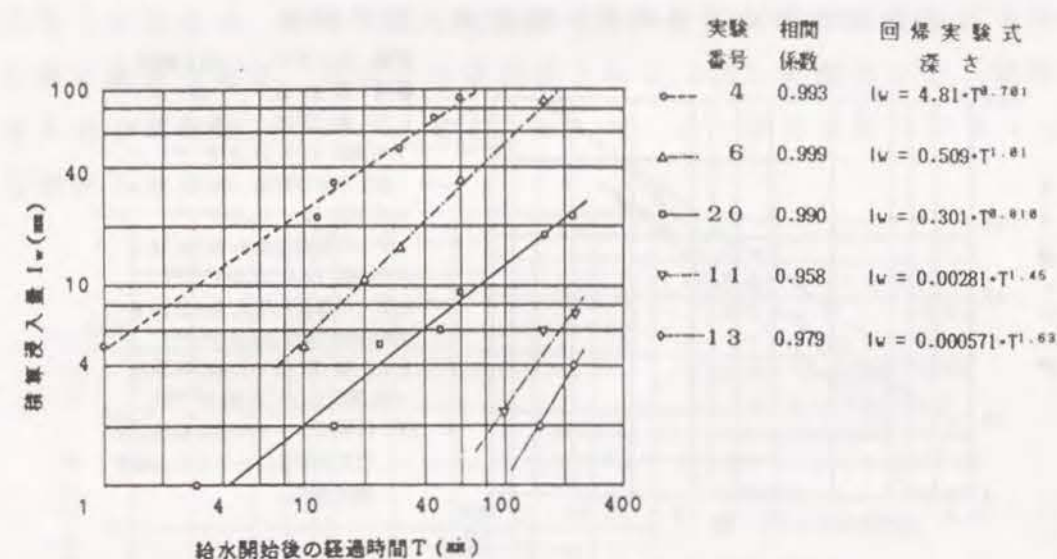


図6-4 無処理区の給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係

次に、心土破碎の破碎幅に対する給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係を調べた。それを図6-5に示す。実験番号1は、心土破碎幅が最も広いもの(破碎幅 0.44 m)の給水開始後の経過時間と積算浸入量線図であるが、これは、次いで広いもの(実験番号8: 破碎幅 0.32 m)より小さく、最も幅の狭



い実験番号12（破碎幅 0.20 m 破碎深さ 0.37 m）と14（破碎幅 0.20 m 破碎深さ 0.30 m）の間に挟まれ、心土破碎幅によって、給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係が変化するというより、心土破碎深さによって変化したと考えた方がよさそうである。

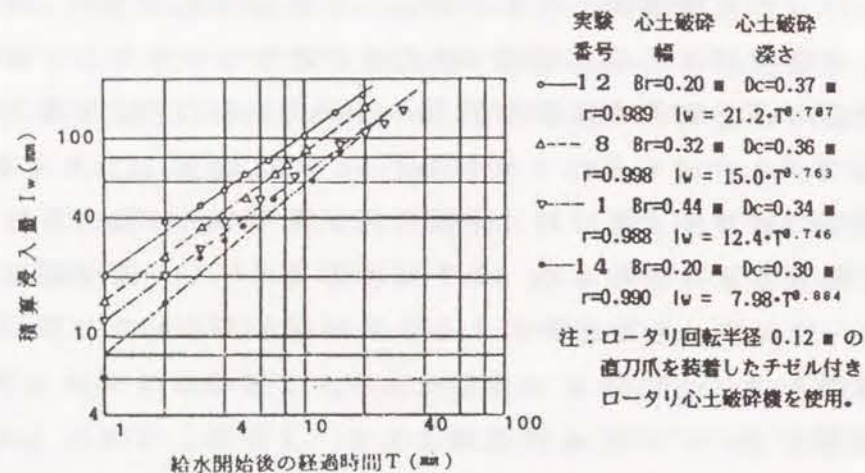


図 6-5 試作心土破碎機による心土破碎幅に対する給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係

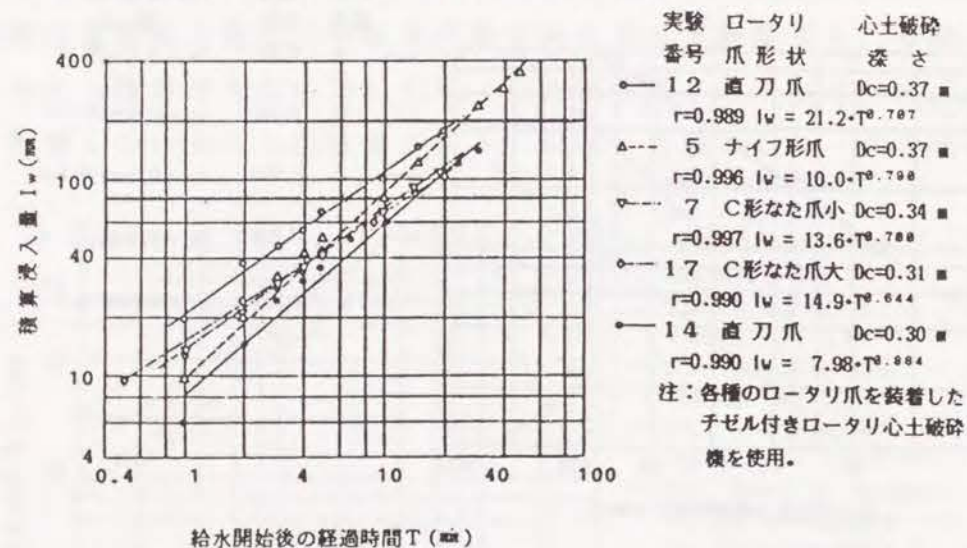


図 6-6 試作心土破碎機によるロータリ破碎爪の形状に対する給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係

最後に、試作機に種々のロータリ破碎爪を装着した時の相違について検討した。ロータリ破碎爪として、回転半径 0.175 m（実験番号17）と 0.12 m のなた爪（実験番号7），回転半径 0.12 m のナイフ爪（実験番号5），回転半

径 0.12 m の直刀爪（実験番号12）を用いた時の給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係を図6-6に示す。同図より、直刀爪使用時の実験番号12と14の間に他のロータリ破碎爪使用が挟まれるので、この実験においても、ロータリ破碎爪の影響より心土破碎深さの影響の方が大きいといえる。

無処理と処理区とを分け、さらに処理近傍を加えて、3水準で分散分析を行った。その結果、有意水準1%で有意差ありと判定でき、心土破碎処理を行うと積算浸入量が多くなることがわかった。

### 第3節 心土破碎位置からの距離と給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係

チゼル単体（実験番号22）による給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係を図6-7に示す。実験番号22-1は、心土破碎直上の給水開始後の経過時間と積算浸入量の線図であり、実験番号22-2は、心土破碎位置から0.25 m離れた位置、実験番号22-3は、心土破碎位置から0.5 m離れた位置を示す。四角二点鎖線は、無処理区（実験番号20）の給水開始後の経過時間と積算浸入量の線図である。同図より破碎直上から0.25 m離れると、無処理区の積算浸入量とほぼ同じくらいになる。そして、心土破碎位置から0.5 m離れると無処理区より少なくなった。

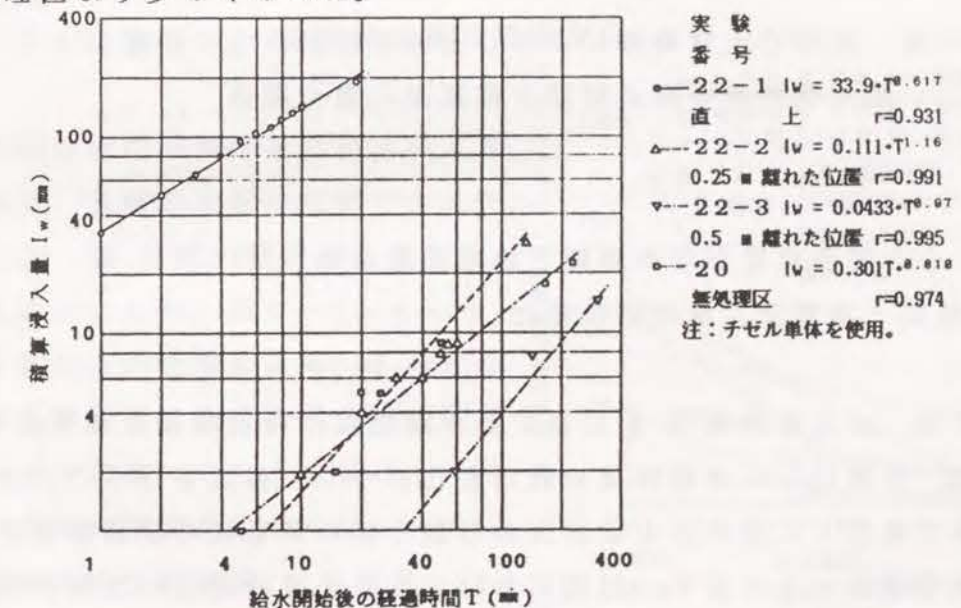


図 6-7 チゼル単体使用時の給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係



次いで、直刀爪装着時のロータリ心土破碎機に対する破碎直上からの距離による給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係を図6-8に示す。同図白菱形と白下三角は、心土破碎直上であり、図6-2にすでに示したものであるが、黒菱形と黒下三角はそれぞれの条件で心土を破碎した位置から0.5 m離れた位置の給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係である。この時も0.5 m離れたとはほぼ無処理と変わらないまでその積算浸入量は、減少した。なお、心土破碎直上から0.25 m離れた位置での積算浸入量は、破碎溝が近か過ぎ溝を壊しそうであったので、実施しなかった。

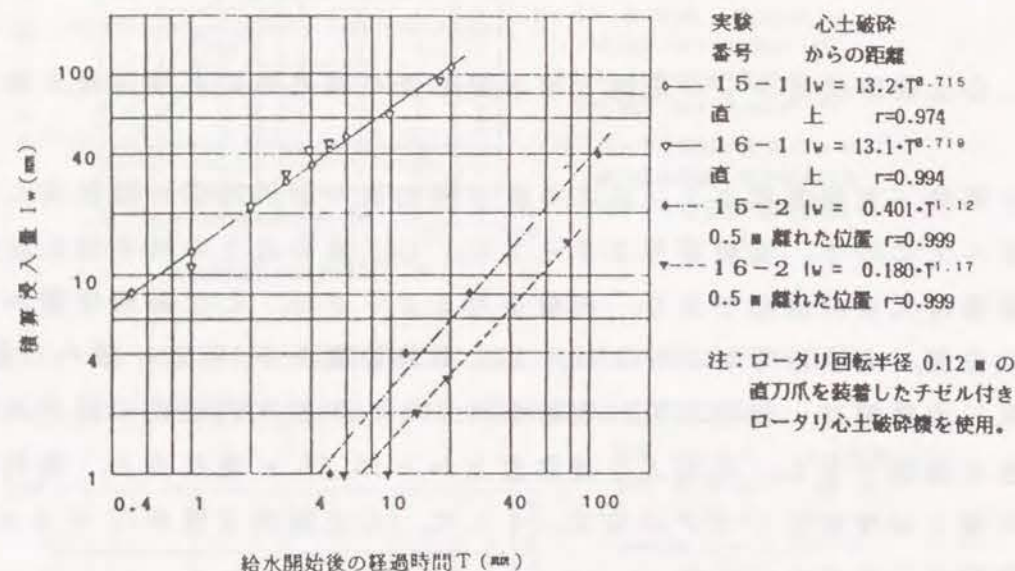


図6-8 試作心土破碎機による心土破碎位置からの距離による給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係

#### 第4節 心土破碎位置からの距離と給水開始後の経過時間と積算浸入量の経日変化

第3節では、心土破碎処理4日目に給水開始後の経過時間と積算浸入量関係を検討した。本節は、心土破碎後の経日変化について検討を行うこととした。チゼル単体で処理した区的心土破碎後の日数と給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係を図6-9に示す。同図において、心土破碎直上の実験番号22-1の経日変化と、破碎直上から0.25 m離れた位置の実験番号22-2の経日変化を示した。白記号は、心土破碎直上の心土破碎後4日目、22日目、203日目

目の給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係を示し、黒記号は心土破碎直上から0.25 m離れた位置を示す。心土を破碎した直上は、日が経てば経つほど積算浸入量は減少する。一方、心土破碎直上から0.25 m離れた位置の積算浸入量をみると、心土破碎22日目の値は、心土破碎後4日目の値より大きい。これは心土破碎後22日目になると土壌の風化のため、水の道ができ、積算浸入量が、心土破碎後4日目より多くなったものと推察される。心土破碎後203日目は、4日目と同じくらいまで、積算浸入量が減少した。

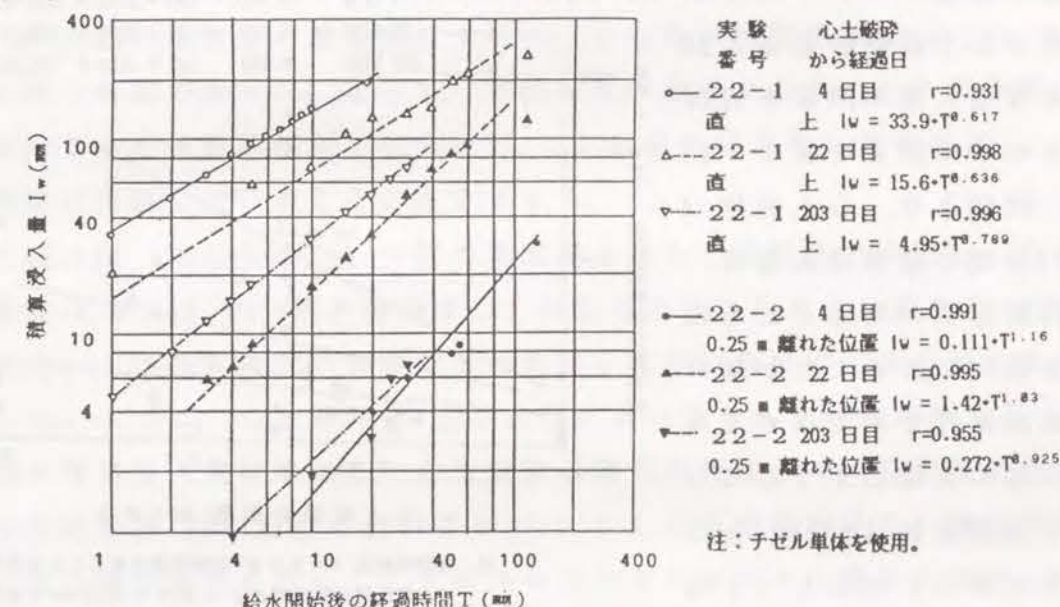


図6-9 チゼル単体使用時の給水開始後の経過時間と積算浸入量の経日変化

給水開始後の経過時間と積算浸入量の関係で、各種の比較は可能であるが、ここでは、20分間の積算浸入量で比較することにした。図6-10に心土破碎位置からの距離による20分間の積算浸入量の経日変化を示す。白記号は、チゼル単体での心土を破碎した時の20分間の積算浸入量を示したもので、白丸は心土破碎後4日目を、白上三角は心土破碎後22日目を、白下三角は心土破碎後203日目を示す。黒

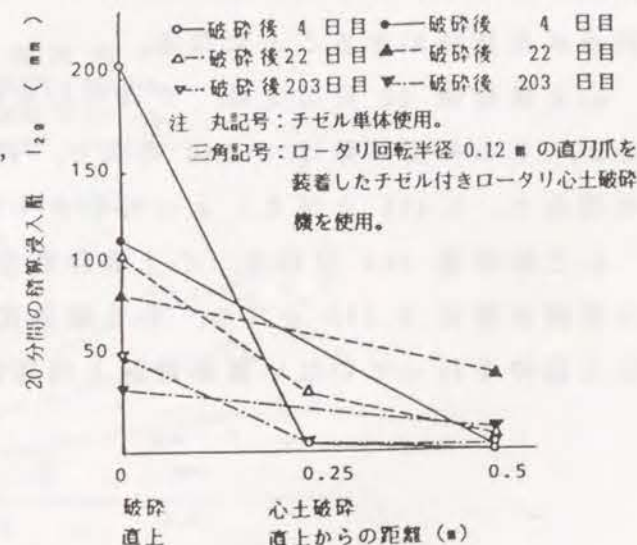


図6-10 心土破碎位置からの距離と20分間の積算浸入量の関係



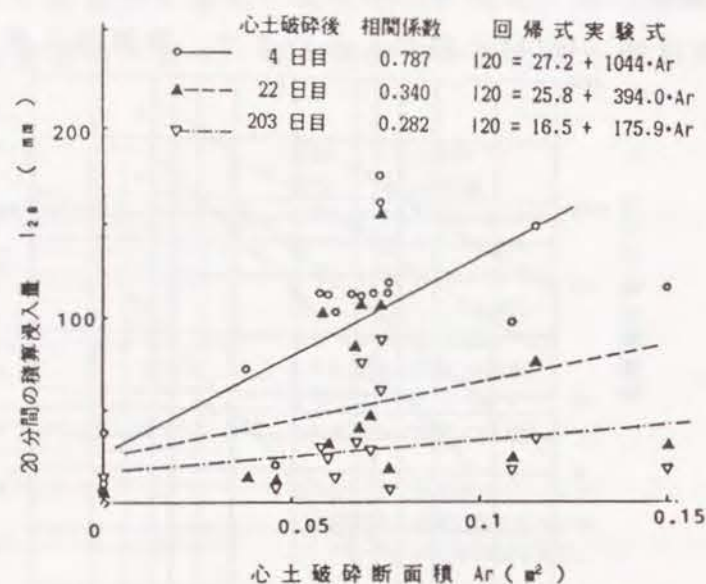
記号は、実験番号16の場合を示しており、この時もチゼルの22日目の積算浸入量と同様に、心土破碎後4日目では生じていない水の道が、22日目には生じており、203日目ではその道が再び閉ざされたことが推察される。

#### 第5節 心土破碎断面積と20分間の積算浸入量の経日変化

試作機に各種ロータリ爪を装着した時の心土破碎断面積と20分間の積算浸入量の関係を検討した。それらの関係を図6-11に示す。同図より、心土破碎4日目の20分間の積算浸入量は、心土破碎断面積の増加とともに増大する傾向にあることが知れる。直線回帰式を当てはめると、同図の実線のようになった、この相関係数は0.787となり、有意水準は1%以上（1%点はデータ数16の場合で、0.590となる）となるので、本回帰式は意味があることになる。

心土破碎後22日目では、やはり心土破碎断面積の増加に対し増加傾向にあるが、その相関係数は0.340となり、有意水準は5%（5%点はデータ数16の場合で、0.468となる）よりも小さくなり、回帰式に意味はなくなる。

心土破碎後203日目は、心土破碎断面積の増加に対し増加傾向にあるが、その相関係数は0.282となり、心土破碎後22日目より一層小さくなる。そして、心土破碎を行っていない無処理区と同程度にまでなる実験区もあった。



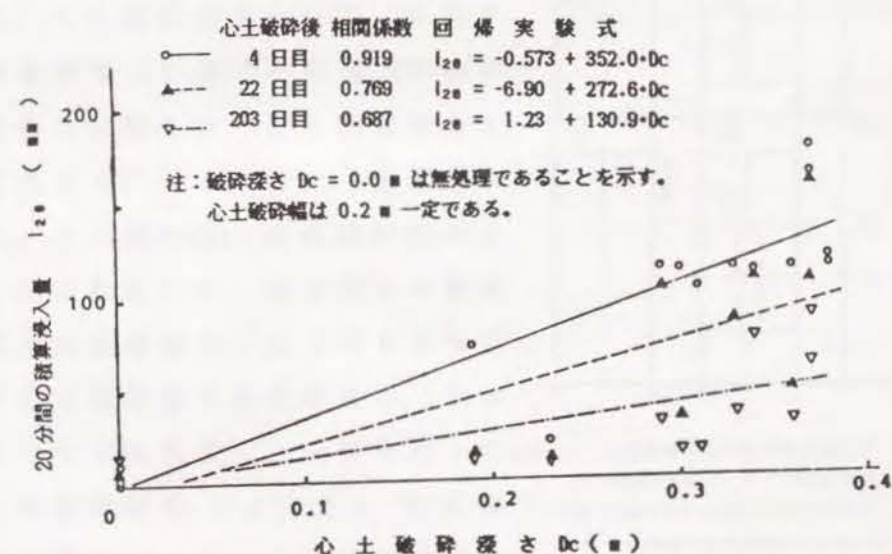
注：破碎断面積  $A = 0.0 \text{ m}^2$  は無処理であることを示す。  
心土破碎機の破碎深さは  $0.34 \text{ m} \sim 0.37 \text{ m}$  である。

図6-11 心土破碎断面積と20分間の積算浸入量との関係

#### 第6節 心土破碎深さと20分間の積算浸入量との関係

試作機にロータリ回転半径  $r = 0.12 \text{ m}$  の直刀爪を2本装着した時の心土破碎深さと20分間の積算浸入量の関係を図6-12に示す。心土破碎後4日目の直線回帰直線の相関係数は0.919となり、心土破碎断面積に対する積算浸入量の相関係数より大きい数値を示した。すなわち、20分間の積算浸入量は心土破碎深さによって破碎断面積より適切に推定することができる。心土破碎後22日目の20分間の積算浸入量を破線で示す。この時の相関係数は0.769であり、1%水準で有意であった。よって、本回帰式は意味があり、心土破碎後22日目においても心土破碎が深くなるほど、20分間の積算浸入量が増加し、心土破碎の効果が持続していることが推定できる。

心土破碎後203日目の20分間の積算浸入量を一点鎖線で示した。この時の相関係数は0.687で、心土破碎後22日目のそれより小さい値を示しており、経日変化により各実験区の特徴が現われてくるが、全体的には1%水準で有意であった。よって、心土破碎後203日目においても心土破碎が深くなるほど、20分間の積算浸入量が増加し、心土破碎の効果が持続している状況が推察される。心土破碎後203日目の破碎深さが  $0.2 \text{ m}$  以下の実験区は、無処理区の積算浸入量と同じ数値を示し、心土破碎の浅いものではその効果が持続し難いことが推定できるが、心土破碎深さが  $0.3 \text{ m}$  以上となると積算浸入量は大きく、しかもその効果が持続している状況が推察できる。



注：破碎深さ  $D_c = 0.0 \text{ m}$  は無処理であることを示す。  
心土破碎幅は  $0.2 \text{ m}$  一定である。

図6-12 心土破碎深さと20分間の積算浸入量との関係



## 第7節 本章のまとめ

本章は、チゼル付きロータリ心土破碎機の利用効果を検討するため、各種条件下で試作機を操作し、シリンダインテークレート法による水の積算浸入量の計測を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) チゼル単体の実験区では、心土破碎直後では、その積算浸入量は大きかった。これは、溝が確実に作成されるためと推定される。
- 2) 試作チゼル付きロータリ心土破碎機による心土破碎 4 日目の積算浸入量は、チゼル単体の方が大きかった。しかし、心土破碎後 203 日目となると、試作チゼル付きロータリ心土破碎機による積算浸入量の方が大きくなる傾向にあった。
- 3) 試作チゼル付きロータリ心土破碎機による20分間の積算浸入量に対し、心土破碎断面積と心土破碎深さの両変数について回帰分析を行った。その結果、破碎深さに対する回帰式の方が高い相関係数を示した。
- 4) 心土破碎後 22 日目や 203 日目の試作チゼル付きロータリ心土破碎機による心土破碎深さに対する 20 分間の積算浸入量は、いずれの式も 1 % 水準で有意となった。これは、心土破碎深さが 20 分間の積算浸入量に対し意味を持っていて、積算浸入量は破碎深さで推定できることを示す。
- 5) 試作チゼル付きロータリ心土破碎機を用いて、心土破碎深さを 0.3 m 以上にすれば、その効果は 203 日まで持続する。

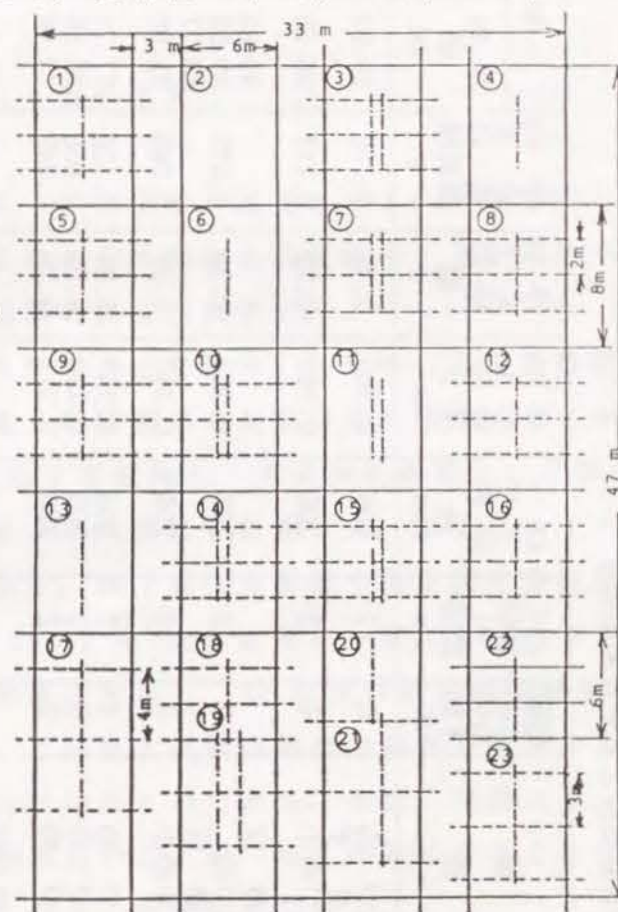
## 第7章 ビール麦の生育および収量調査による試作機の利用効果<sup>5,7)</sup>

### 第1節 ビール麦の生育および収量調査

本章は、試作チゼル付きロータリ心土破碎機の利用効果判定のため、各種条件下で心土破碎を行い、ビール麦の生育の調査と収量調査<sup>15,57)</sup>を行った。

供試ほ場として、鳥取大学農学部附属農場の畑地専用ほ場で、前章の心土破碎作業を行った後にビール麦の生育の行い、その調査と収量調査を行った。ほ場に図7-1の実験区を設定した。図中の破線は、試作したチゼル付きロータリ心土破碎機で心土破碎作業を行った位置を示し、実験区22の実線は、チゼル単体で心土破碎作業を行ったものである。実験区4, 6, 11, 13, 20

は、心土破碎作業を行っていない無処理区である。一点鎖線は本列のビール麦に対して生育調査を行った場所を示す。試作機のロータリ破碎爪の種類は、表7-1に示すとおりである。すなわち、ロータリ破碎爪回転半径 0.12 m の直刀爪、同径のナイフ爪およびなた爪（なた爪小）とロータリ破碎爪回転半径 0.175 m のなた爪（なた爪大）を用いた。心土破碎作業として、トラクタ前進速度は v1 速（平均 0.38 m/s）で、直刀爪に対しロータリ回転数を4段に変化させ行った。また、直刀爪に対して、さの浅い区、中程度の区および深い区を設定した。直刀爪2本装着、直刀爪4本装着および直刀爪8本を装着させ心土破碎幅を変化させた。なお、なた爪小を2本装着した実験も行った。注



- 1) 丸付き数字は実験番号を表す。
- 2) 破線は各種ロータリづめを装置した時の心土破碎位置を示す。
- 3) 破線の無い区は無処理区を示す。
- 4) 一点鎖線は生育調査を行った植列を表す。
- 5) 実験区の周りはチゼル形サブソイラのみを使用して囲んだ。

心土破碎間隔を 2 m, 3 m, 4 m に変えた実験を行った。心土破碎作業の試験長さは 6 m で、実験区の間は 3 m

図7-1 生育実験ほ場の試験配置



表7-1 試験ほ場の実験条件とビール麦の生育

実験 番号	実験 条件	破砕 付本 数	心土 破砕 列間 隔 m	ロー ター 回 数 rpm	平均 破砕 深さ m	平均 破砕 幅 m	平均 破砕 断面 積 m <sup>2</sup>	草 丈			植列 1 m 地上部 生体質量 g/m	植列 1 m 地上部 乾燥質量 g/m
								平 均 値 cm	標 準 偏 差 cm	変 動 係 数		
1	直測	8	2	206	0.360	0.44	0.158	59.83	8.50	0.142	—	100.0
2	刀定	4	2	206	0.340	0.32	0.111	86.59	5.77	0.0666	—	—
3	C形	—	—	—	—	—	—	—	—	—	688.0	260.9
3'	無ナ	2	2	206	0.367	0.20	0.073	59.83	8.50	0.142	—	255.5
4	無ナ	2	2	206	0.367	0.20	0.073	82.98	6.12	0.0737	—	88.9
5	無ナ	2	2	206	0.340	0.20	0.068	68.27	9.23	0.135	200.2	188.5
6	無ナ	2	2	206	0.340	0.20	0.068	82.98	6.11	0.0739	564.9	63.3
7	C形	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	185.1
7'	直直	4	2	206	0.357	0.36	0.128	77.71	4.78	0.0615	757.6	183.8
8	直直	2	2	206	0.290	0.20	0.058	68.86	6.48	0.0941	446.9	229.9
9	直直	2	2	206	0.213	0.20	0.043	73.86	4.05	0.0548	496.9	149.6
10	無ナ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	483.5	160.7
10'	無ナ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	160.0
11	無ナ	—	—	—	—	—	—	72.94	10.4	0.143	—	102.7
11'	直直	2	2	462	0.387	0.20	0.077	75.91	5.10	0.0671	514.7	103.3
12	直直	—	—	—	—	—	—	63.24	6.52	0.103	—	192.4
13	直直	2	2	206	0.313	0.20	0.063	75.05	4.56	0.0607	540.0	74.4
14	直直	—	—	—	—	—	—	—	—	—	417.5	189.3
14'	直直	2	2	350	0.363	0.20	0.073	84.59	6.48	0.0766	726.2	137.8
15	直直	2	2	267	0.367	0.20	0.073	82.85	5.46	0.0658	—	208.0
15'	直直	2	2	206	0.333	0.20	0.067	74.36	9.97	0.134	609.8	238.2
16	C形	2	4	206	0.333	0.20	0.067	71.27	5.22	0.0731	—	194.2
17	C形	2	2	206	0.333	0.20	0.067	81.71	5.52	0.0675	491.1	129.4
18	C形	—	—	—	—	—	—	79.14	6.71	0.0847	—	166.9
18'	C形	2	3	206	0.350	0.20	0.070	87.10	4.47	0.0675	884.3	180.9
19	C形	—	—	—	—	—	—	86.47	3.91	0.0451	—	283.1
19'	C形	2	3	206	0.350	0.20	0.070	75.14	6.29	0.0837	290.9	252.6
20	無ナ	2	4	206	0.263	0.20	0.053	84.12	4.69	0.0557	387.3	115.5
21	無ナ	2	4	206	0.350	0.08	0.028	74.05	4.72	0.0637	539.1	114.0
22	無ナ	2	3	206	0.363	0.20	0.073	79.34	4.66	0.0586	465.8	162.4
23	無ナ	2	3	206	0.363	0.20	0.073	79.34	4.66	0.0586	465.8	159.6

注：—は欠測値を表す。

草丈および地上部生体質量は、1984年5月10日に調査を行った。

地上部乾燥質量は実験室にて乾燥後、1984年9月10日に調査を行った。

の緩衝域を設けた。表7-1に心土破砕を行った時の作業条件と作業後の破砕深さや作業幅ならびに破砕断面積の平均値を示す。雑草防除と良好な播種床造成のため、心土破砕実験の2日後に耕深約0.2mのロータリ耕を行った。

心土破砕後10日目(1983年10月29日)に、飼料用ビール麦(品種：赤城二条)を10a当り15kg、畦間0.3mにして心土破砕方向と直角に手播きした。基肥として化成肥料(N:13%, P:13%, K:13%)を10a当り100kg施用した。その生育状況を7ヶ月にわたり観測し、収穫時(1984年5月10日)に草丈、分けつ、根の生育状況、穂を含む地上部生体質量を計測した。収穫後は室内にて風乾させ、穂を含む地上部乾燥質量、登熟歩合、1000粒重、一穂粒数、および一株穂数を求めた。

## 第2節 心土破砕機の相違によるビール麦の生育

試験ほ場のビール麦の生育結果を表7-1に示す。調査は、1m全量を以て行った。表7-1から、実験番号22のチゼル単体と実験番号12の試作チゼル付きロータリ心土破砕機での生育結果の例を次に示す。

まず、チゼル単体(実験番号22:B)で心土を破砕した時の心土破砕位置からの距離とビール麦の草丈、生体質量、乾燥質量の変動曲線を図7-2に示す。同図は、同一条件で2m毎に三列心土を破砕し、中央列を基準として両端の破砕位置から三列の破砕列に直交するように草丈を計測した。同図のマイナス側は北側を示し、プラス側は南側を示す。地上部生体質量や地上部乾燥質量は、草丈を計測した位置(-2.25~2.25m)を0.5m毎に一束にし、その質量を計測した。図中のDcはチゼル破砕深さを示し、Bcは試作機の破砕幅を示す。図より、南側の生育は良くないが、これは本試験ほ場が中央部で緩やかな山状になっていて、南側が上がりになっていたのである。また、同図より、心土を破砕した図中央部や両端部の生育が良いことが、草丈が高くなることや、地上部生体質量、地上部乾燥質量が重くなることで推定できる。

ロータリ破砕機(回転半径が0.12mの直刀爪を2本装着したチゼル付きロータリ心土破砕機)で心土を破砕したの実験時(実験番号12:C)の心土破砕位置に対する草丈、地上部生体質量および地上部乾燥質量の変動を図7-3に示す。



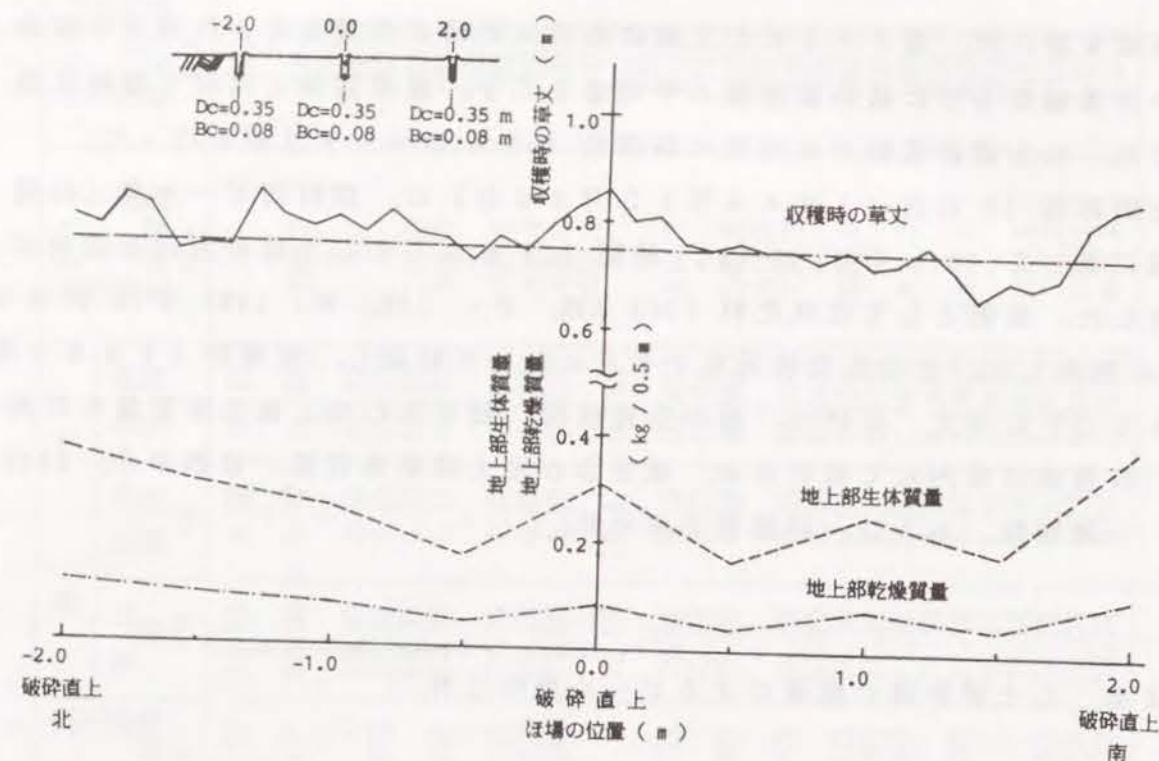


図 7-2 チゼル単体による心土破碎区のビール麦の草丈，地上部生体質量，地上部乾燥質量とは場の位置との関係

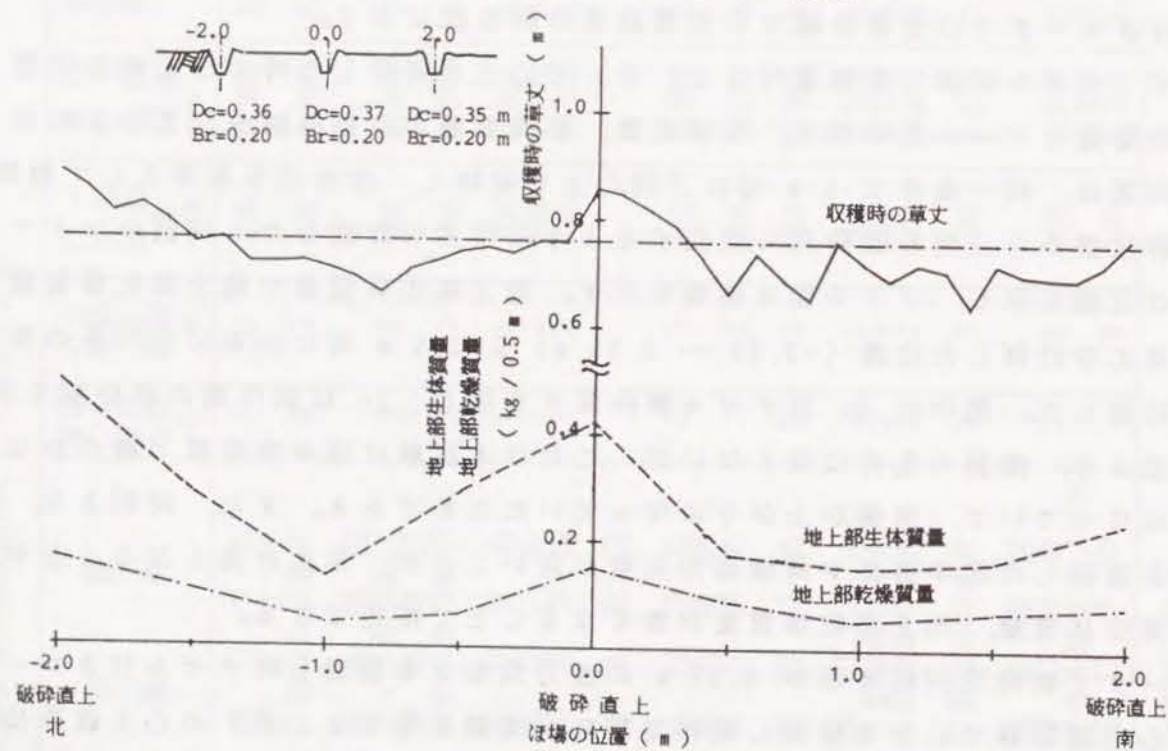


図 7-3 直刀爪 2 本装着時のチゼル付きロータリ心土破碎機によるビール麦の草丈，地上部生体質量ならびに地上部乾燥質量とは場の位置の関係

同図より，チゼル単体での実験と同様心土を破碎した直上の生育が良いことがわかる。ただし，試作チゼル付きロータリ心土破碎機でのチゼル破碎深さやロータリ破碎幅がチゼル単体より大きく，草丈，地上部生体質量ならびに地上部乾燥質量とも僅かではあるが大きくなり，心土破碎の効果が認められた。

### 第 3 節 心土破碎機の相違によるビール麦の収穫時の草丈，地上部生体質量ならびに地上部乾燥質量

前節で検討した心土破碎位置とビール麦の生育調査では，心土破碎機の相違による影響は把握しがたい。そのため，先の二例に無処理区（実験番号 6：A）となた爪（実験番号 7：D）での結果を加え，生育調査の差を求めた。図 7-4 にその結果を示す。この図だけでは，客観的な判定がしにくいので，心土破碎機の相違と心土破碎位置の相違を因子として二元配置分散分析を行った。その結果，心土破碎機の相違では，1%水準で有意差が認められ，心土破碎位置の相違では，5%水準で有意差が認められた。よって，心土破碎を行った方が良いの判断が得られた。

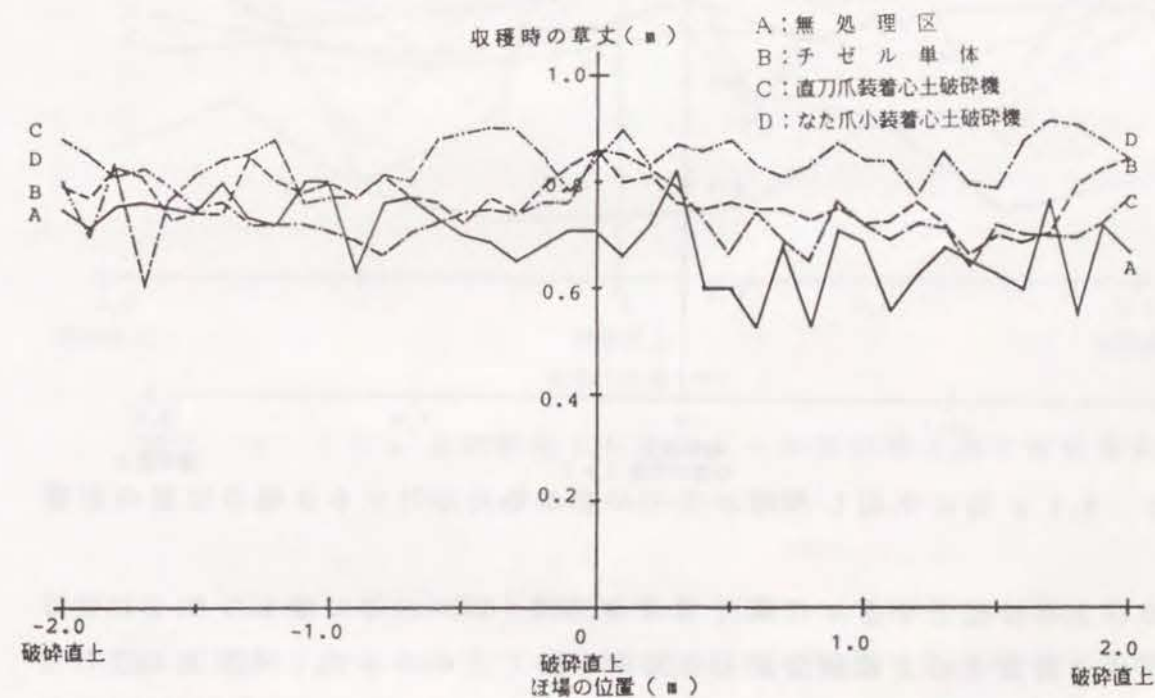


図 7-4 0.1 m 毎に計測した時のビール麦の草丈に対するは場の位置の影響



地上部生体質量や地上部乾燥質量と同じく植列 0.5 m 毎に平均した時の草丈と心土破碎位置との関係を図 7-5 に示す。同図より、実線で表わされる無処理区 (A) の草丈は、は場の位置で負の位置 (北) から正の位置 (南) に向けて減少傾向を示していた。それに比べ、心土を破碎した区の草丈はいずれの実験区のものも心土破碎直上が、他の位置より良くなる傾向にあった。個々の実験区について検討してみると、まず破線で表わされる (B) のチゼル単体の心土破碎区の草丈は僅かではあるが、心土破碎直上が他の位置より良くなり、無処理区の平均より全体的に大きくなっていった。一点鎖線で表わされる直刀爪装着の心土破碎機による草丈 (C) の全体的な平均値は、チゼル単体の心土破碎区 (B) とほぼ同じ値となり、草丈に対してほぼ同様の効果を示したことがわかる。二点鎖線で表わされるなた爪小装着の心土破碎機による草丈 (D) は、図 7-5 の中で最も大きく、ビール麦の生育が良好であったことがわかる。いずれにしても、心土を破碎した実験区の草丈は、無処理区の草丈より大きく、心土破碎の効果が現われているものと考えられる。

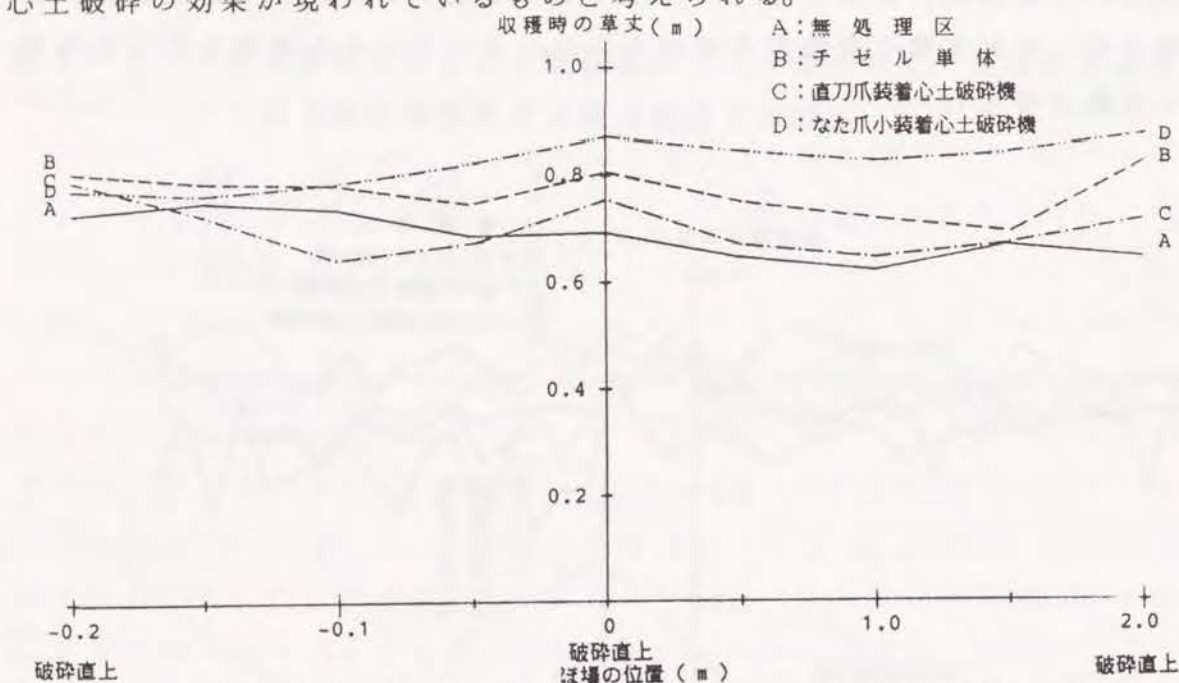


図 7-5 0.5 m 毎に平均した時のビール麦の草丈に対するは場の位置の影響

三本の心土破碎直上を含んだ植列 4.5 m 間を 0.5 m 毎に束を作り、1 束毎の地上部生体質量と心土破碎位置との関係を図 7-6 に示す。同図は、図 7-5 の草丈によって表示するよりも、より明確に心土破碎作業の効果が判定できる。すなわち、心土を破碎した実験区の地上部生体質量は、心土破碎直上の方

がそれから離れた位置よりも大きくなる傾向にあることがわかる。図中で、地上部生体質量の最も大ききもから述べると、まず二点鎖線のロータリ破碎爪回転半径が 0.12 m のなた爪小を 2 本装着した実験区 (D) で、次いで破線のチゼル単体の心土破碎区 (B) で、3 番目が一点鎖線のロータリ破碎爪回転半径が 0.12 m の直刀爪を 2 本装着した実験区のもの (C) で、無処理区 (A) は最も少なかった。これらの地上部生体質について、分散分析を行った。分散分析の結果、心土破碎機の相違や心土破碎位置の相違においても、1 % 水準で有意差ありと判定できた。したがって、心土破碎作業を行ったことにより地上部生体質量が多くなったので、心土を破碎した効用が実現されたものとする。

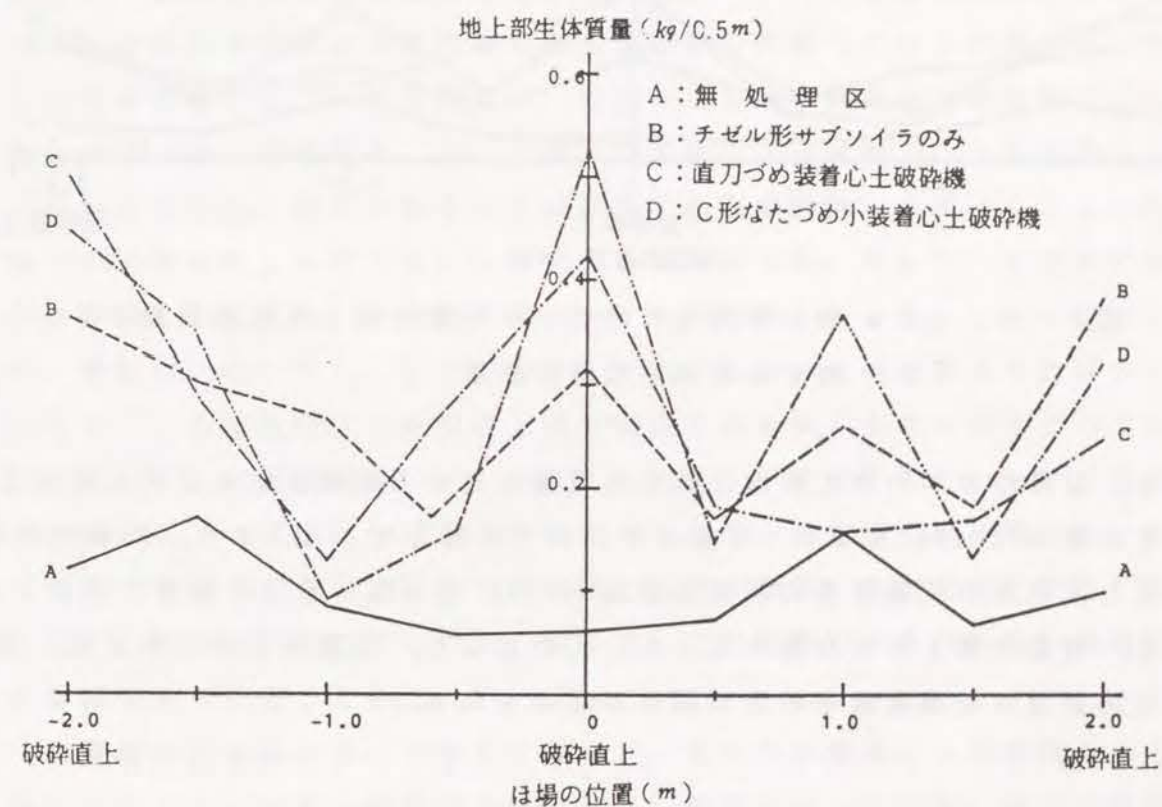


図 7-6 0.5 m 毎に平均した時のビール麦の地上部生体質量に対するは場の位置の影響

実験室で、風乾した後の地上部乾燥質量を図 7-7 に示す。同図は、図 7-6 の生体質量から水分を除去した作物の固形物の質量であるから、当然のことながら、図 7-6 同様の傾向を示した。ただし、その変動は小さくなるとともに、生体質量中の水分量の相違から、順位がわずかながら変動した。地上部乾



燥質について、分散分析を行うと、この場合も、1%水準で有意差有りとは判定できた。しかもその分散比は、生体質量よりも大きく、より一層それら間の差が大きくなっていることがわかる。よって、これからも心土破碎作業を行うことが、植生に良い影響を与えていることがわかる。

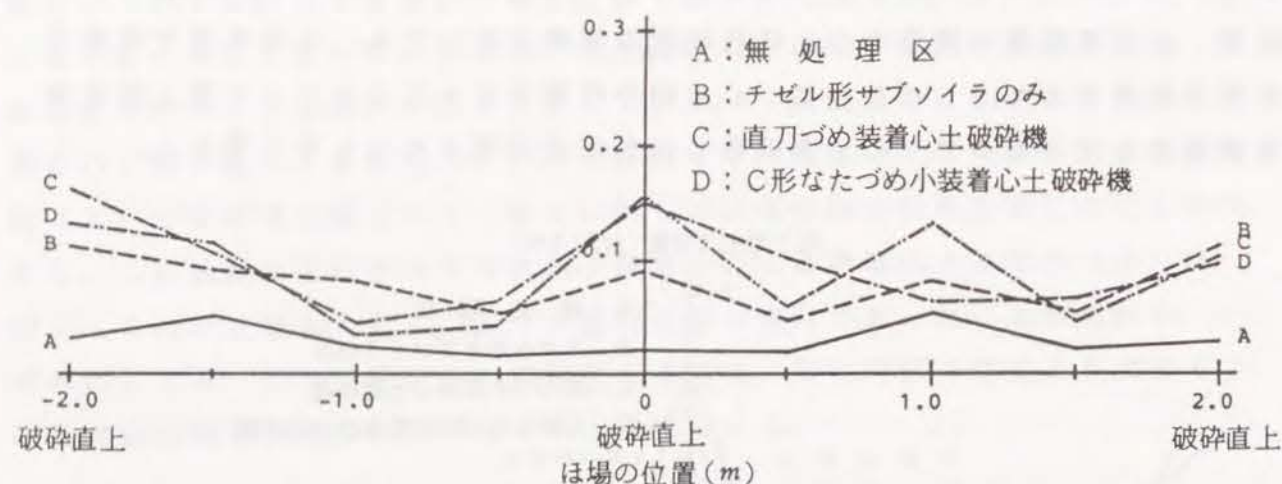


図7-7 0.5 m 毎に平均した時のビール麦の地上部乾燥質量に対するほ場の位置の影響

なお、収穫時の平均草丈の地上部生体質量に対する相関係数を計算したところ、その値は0.536となり、有意水準5%で有意となった。また、収穫時の平均草丈と風乾後の乾燥質量の相関係数は0.713で、地上部生体質量の場合より大きく、有意水準1%で有意となった。これにより、収穫時の平均草丈は、地上部生体質量や乾燥質量と特定の関係が認められる。

#### 第4節 心土破碎機の相違によるビール麦の収量構成

次いで、心土破碎機の相違によるビール麦の収量構成図について検討した。それを図7-8に示す。収量構成項目として、登熟歩合、1000粒重、一穂粒数、一株穂数、分けつ数を選んだ。登熟歩合は、なた爪小装着心土破碎機で心土を破碎した区(D)が最良で、次いでチゼル単体で心土を破碎した区(B)であった。3番目が直刀爪装着心土破碎機によって心土を破碎した区(C)で、最後が心土を破碎しなかった無処理区(A)であった。この結果より、心土を破碎した方がしない無処理区より登熟歩合の割合が大きいことがわかる。1000粒重では、登熟歩合と同じ順位となっていたが、チゼル単体で心土を破碎した区(B)と直刀爪装着心土破碎機で心土を破碎した区(C)との差が減少し、接近した値となった。一穂粒数では、やはりなた爪小装着心土破碎機で心土を破碎した区(D)が最良で、次いで直刀爪装着心土破碎機で心土を破碎した区(C)となった。直刀爪装着心土破碎機で心土を破碎した区(C)とチゼル単体で心土を破碎した区(B)の順位が入れ替わった。そして、チゼル単体で心土を破碎した区(B)は無処理区(A)と同じ値となった。しかしながら、この一穂粒数においても、心土を破碎した方がしない無処理区より良好であるといえる。一株穂数は、一穂粒数と同じ順位であるが、チゼル単体で心土を破碎した区(B)は無処理区(A)の値より大きく、差が生じた。分けつ数では、その順位は、一株穂数と同じであるが、なた爪小装着心土破碎機で心土を破碎した区(D)と直刀爪装着心土破碎機で心土を破碎した区(C)が同じ値となった。この分けつ数においても、やはり心土を破碎した方がしない無処理区より良好であったといえる。

収量構成図全体について考えてみると、なた爪小装着心土破碎機で心土を破碎した区(D)はその構成項目すべてで、最良となっていた。直刀爪装着心土破碎機で心土を破碎した区(C)は登熟歩合と1000粒重において次のチゼル単体で心土を破碎した区(B)より劣っていたが、その他の項目ではチゼル単体で心土を破碎した区(B)より優勢であった。チゼル単体で心土を破碎した区(B)は、前述したように登熟歩合と1000粒重では直刀爪装着心土破碎機で心土を破碎した区(C)より優勢であったが、他の項目ではそれより劣っていた。しかしながら、無処理区(A)よりすべての項目で優れていた。以上のことより、心土を破碎した方が心土を破碎しない無処理区より収量構成項目すべてに



において優れており、心土を破碎することの有用性が推察できるものと考ええる。図7-4から図7-7を検討してみると、なた爪小使用区が、直刀爪使用区のものより一般的に良好であったことがわかる。この理由としては、なた爪で心土を破碎すると、なた爪の屈曲部のため、直刀爪に比較し心土が幅広く破碎されるとともに、より激しく攪拌されるためと考えられる。

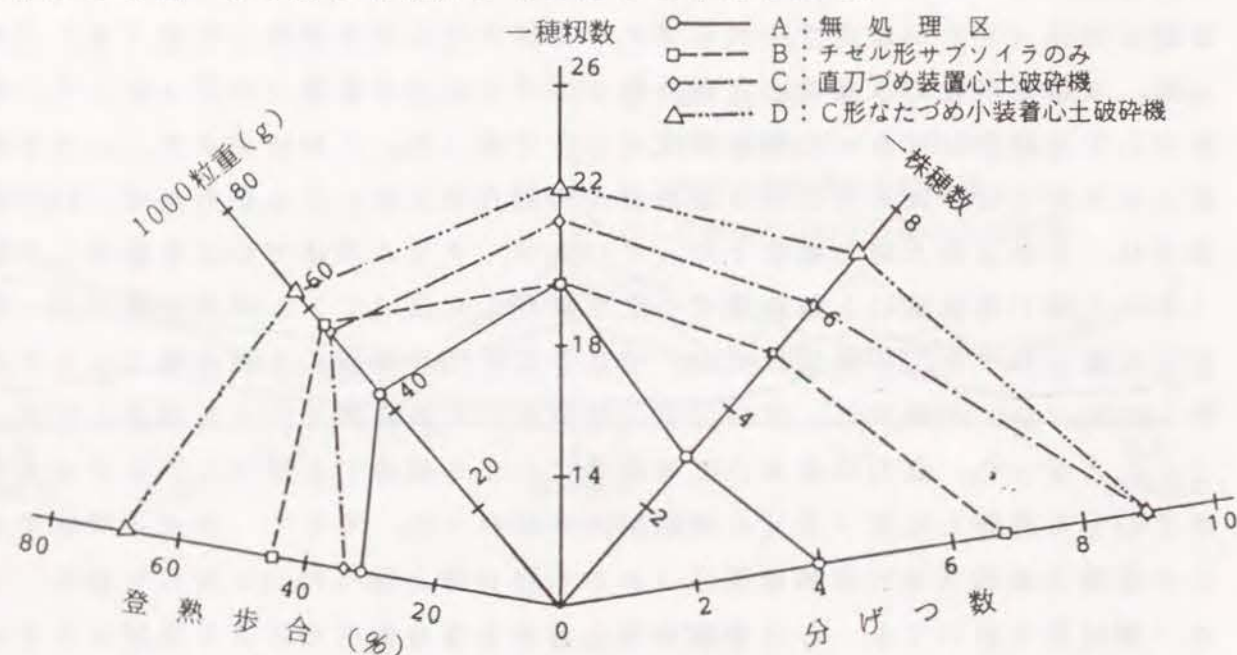


図7-8 心土破碎機の相違がビール麦の収量構成におよぼす影響

#### 第5節 心土破碎機の相違によるビール麦の根群調査

試験区の株下の土壌を排除し、根群の生育状況を観察した結果の図を図7-9に示す。図中(a)は無処理区(実験番号4)の根群を示す。同図より、地下0.2mの位置に黄色で示される硬化層があり、ビール麦の根がこの硬化層を通過することができず、浅く疎らに存在していることが認められる。一方、同図(b)のチゼル単体で心土が破碎された区は、無処理区で観察された深さ0.2m付近の硬化層が破碎され、麦の根がそれ以上に伸び、無処理区に比較して根群の生育が順調であることが認められる。更に、同図(c)のロータリ破碎爪回転半径が0.12mの直刀爪を2本装着したチゼル付きロータリ心土破碎機で心土を破碎した区においては、チゼル単体で心土を破碎した区より、より広く心土が破碎されるので、根群はより一層発達している状況が認められる。



(a) 無処理区の根群



(b) チゼル単体による  
心土破碎区の根群



(c) 直刀爪2本装着心土破碎  
機による心土破碎区の根群



(d) 直刀爪4本装着心土破碎  
機による心土破碎区の根群

図7-9 心土破碎機の相違がビール麦の根群におよぼす影響



最後に、同図（d）にロータリ破碎爪回転半径が 0.12 m の直刀爪を 4 本装着した時のチゼル付きロータリ心土破碎機による心土破碎区の結果を示す。同図の（d）は、細かい髭根が観察され、（c）より一層根群が発達している状況が伺える。以上の結果より、心土を深く広く破碎すると破碎断面積が大きくなるので、ビール麦の根の発育領域が広げられ、さらにロータリの回転により土壌が細かく破碎されより一層根群の発育が促がされる。したがって、心土を深く広く破碎することの有用性と心土破碎機の有効性が推察できたものと考えられる。

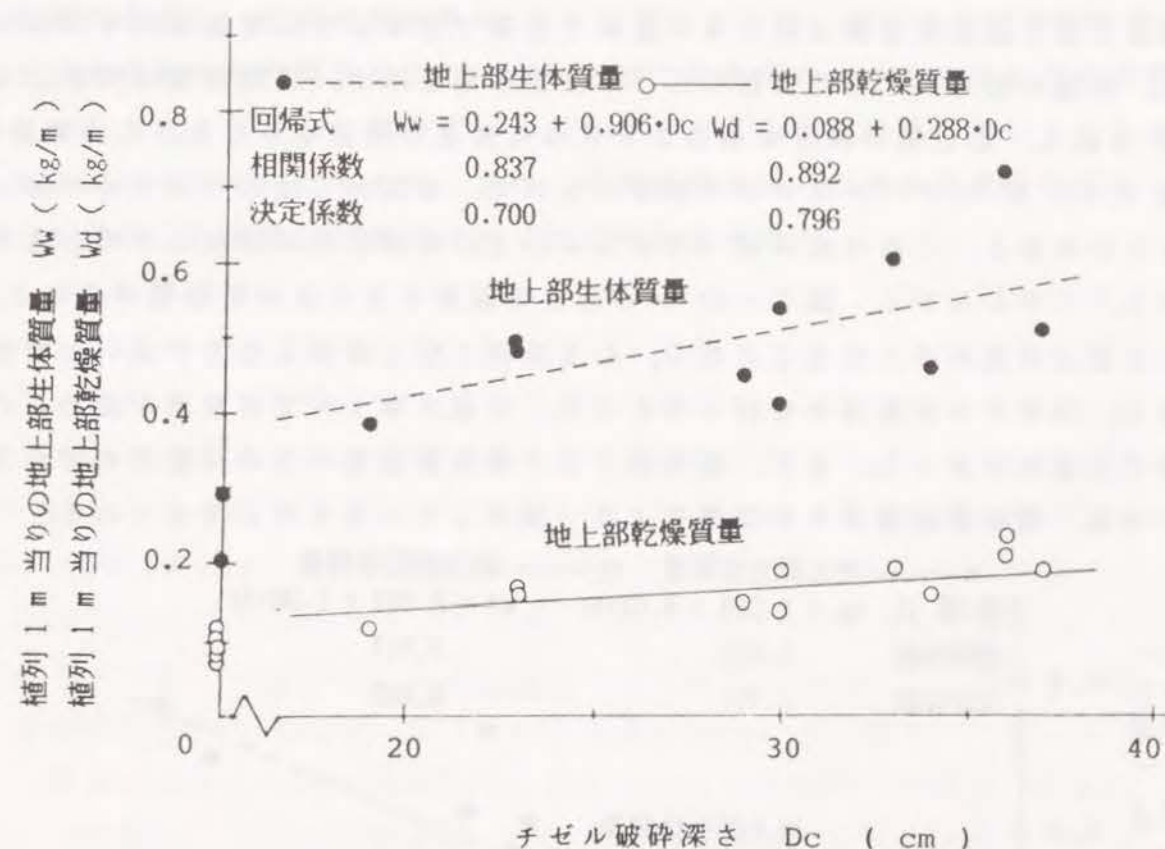
#### 第 6 節 心土破碎機の破碎深さがビール麦の生育におよぼす影響

本節では、試作機にロータリ破碎爪回転半径 0.12 m の直刀爪を 2 本装着し、心土破碎幅を一定とした時の心土破碎深さに対するビール麦の生育について検討する。まず、破碎した土壌の荒さによる影響を調べるため、ロータリ回転数を 4 段に変化させた。ロータリ回転数と破碎状態の関係は第 6 章で述べたように、回転数を速くすればするほど、その破碎深さは深くなる傾向にあった。しかし、ここでは心土破碎の深さの差があまり大きくないと考え、ロータリ回転数を水準として、植列 1 m 当りの地上部生体質量ならびに地上部乾燥質量についての分散分析を行った。分散分析結果より、その分散比は小さく、有意差はなかった。したがって、本実験ではビール麦の生育にはロータリ回転数の影響は少なく、これ以降の考察では影響無きものとして取り扱った。

前節で心土破碎による植生についての効果が判明したので、さらに心土破碎の内容と地上部生体質量ならびに地上部乾燥質量との関係を追求することにした。

ロータリ破碎爪回転半径 0.12 m の直刀爪を装着したチゼル付きロータリ心土破碎機を使用した時の心土破碎深さと植列 1 m 当りの地上部生体質量と乾燥質量の関係を図 7-10 に示す。黒丸が植列 1 m 当りの地上部生体質量で、白丸が植列 1 m 当りの地上部乾燥質量である。同図より、地上部生体質量ならびに乾燥質量とも心土破碎深さに対しほぼ直線で近似できるような増加傾向を示した。それぞれの回帰式と相関係数、決定係数を同図に示す。それぞれの相関係数は 0.8 を越えており、有意水準 1 % 以上で回帰式は有意と判定された。す

なわち、心土破碎深さが深いほど地上部生体質量ならびに乾燥質量が多くなるものと推定される。したがって、心土破碎の深さを深くするほど、ビール麦の収量が増加する。回帰式の分散分析を行ったところ、水準 1 % で有意差が認められ、回帰式は意味があることになる。また、地上部生体質量より地上部乾燥質量の方の分散比が、より大きくなっていった。



注：ロータリ回転半径 0.12 m の直刀爪を装着したチゼル付きロータリ心土破碎機を使用。

図 7-10 心土破碎機の破碎深さがビール麦の地上部生体質量および乾燥質量におよぼす影響

#### 第 7 節 心土破碎断面積がビール麦の生育におよぼす影響

チゼル単体で心土を破碎した時の土壌の破碎状況は、試作チゼル付きロータリ心土破碎機のそれと異なっているで、単純に比較することはできない。しか



し、心土破碎作業の有無に対しては、今までの検討から心土を破碎した方が良く考えられる。よって、本節では、第1、2節での検討をより明確にするため、心土破碎断面積と植列1m当りの地上部生体質量と乾燥質量の関係を検討することにした。図7-11にその結果の図を示す。なお、同図は表7-1に示した全てのデータを用いている。同図より、植列1m当りの地上部生体質量と乾燥質量は、心土破碎断面積に対しほぼ直線で近似できるような増加傾向を示している。同図に回帰式、相関係数ならびに決定係数を示す。相関係数は両者とも0.85を越え、心土破碎深さの場合よりさらに大きい数値を示した。心土破碎断面積0.028 m<sup>2</sup>のデータはチゼル単体のもので、本図からは若干大きめであったことがわかる。これは先に述べたように心土の破碎状況が異なるためと考えられる。しかしながら、図7-11から心土を破碎するときの断面積が広いと、ビール麦の収量が多くなることから、心土を深く広く破碎した方が良いと推察できる。回帰式の分散分析を行ったところ、有意水準1%で有意差が認められ、回帰式は意味があった。また、破碎深さより破碎断面積の方の分散比の方が大きいので、破碎断面積がその効果をより一層示しているものと考えられる。

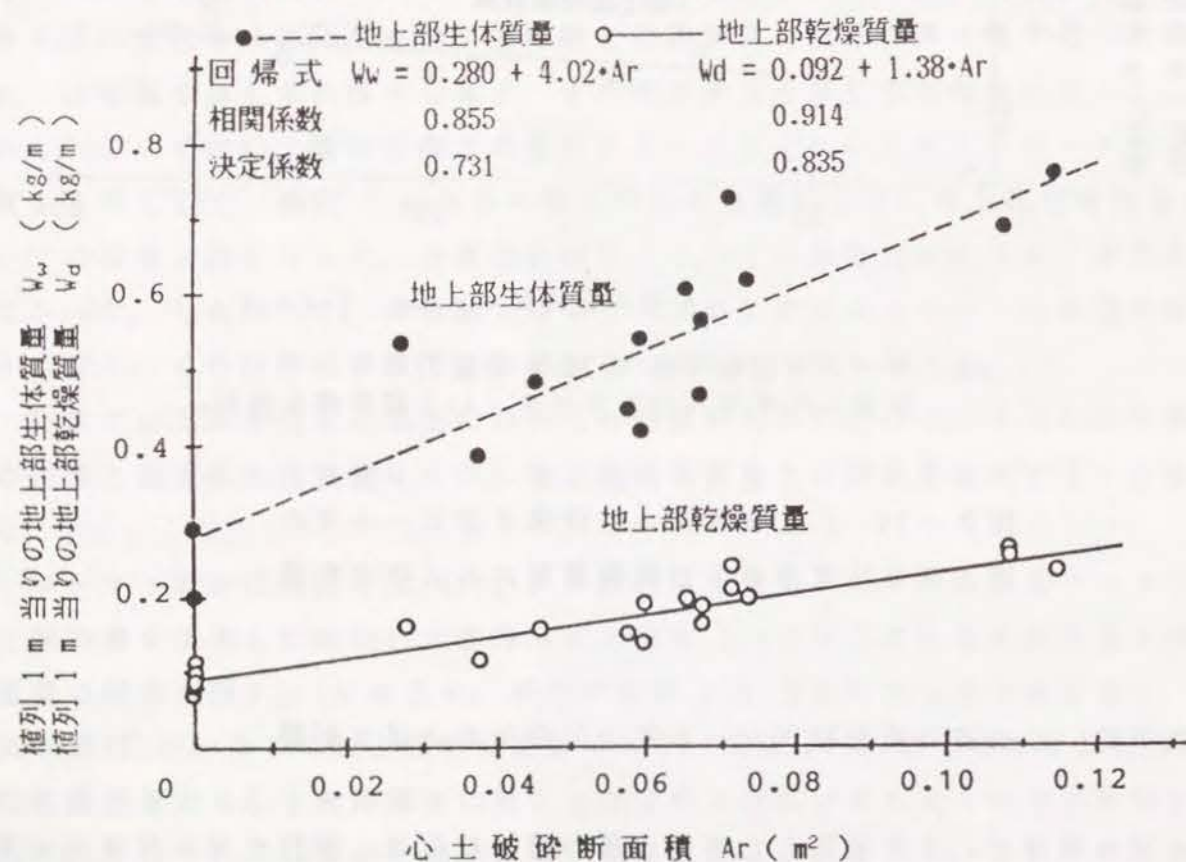


図7-11 心土破碎機の相違が破碎断面積がビール麦の地上部生体質量および乾燥質量におよぼす影響

## 第8節 本章のまとめ

本章では、チゼル付きロータリ心土破碎機の利用効果について検討するため、各種条件下で心土破碎作業後ビール麦を栽培し、生育調査を行った結果を示す。その結果、地上部生体質量ならびに乾燥質量は心土破碎深さに対し直線的な増加傾向を示し、その相関係数も0.8を越えていた。また心土破碎断面積に対しても直線的な増加傾向を示し、しかも心土破碎深さよりもさらに高い相関を示した。このことから、試作チゼル付きロータリ心土破碎機を用いたことによる効果が示せたものと考えられる。また、本試験機を用いた時の収量構成図からも、心土を破碎した実験区が良好であったとの知見を得た。



本研究は、心土の機械的破碎に関するもので、チゼルにより作土直下の鋤床層である心土の破碎と、土中埋没型ロータリにより、チゼルよりさらに広く心土を破碎することによりロータリの深耕作用をより一層拡大する機械の開発と、その利用効果を究明するものである。このため、小型小径のロータリ破碎爪を装着させ、その前部にロータリを土中に案内し、かつロータリより深く心土を破碎するチゼンを配した構造を持つチゼル付きロータリ心土破碎機を試作した。本論文の大要は次のとおりである。

1. 最も普及度の高い 15 kW ( 20 PS ) クラスのトラクタを対象とした耕土改良的機械手段であるチゼル付きロータリ心土破碎機を試作し、そのほ場における一般的諸特性について検討した。なた爪を使用して、ロータリ回転数の変化による土壌の破碎形状と土壌硬度、碎土性および土壌の移動量を計測した。その結果、試作チゼル付きロータリ心土破碎機は深さにおいて 0.2 m から 0.3 m まで、幅において深さと同じく 0.2 m から 0.3 m まで耕うんできた。
2. 篩試験による碎土性の計測よりロータリ回転数が速く、ロータリ耕うんピッチの小さいもほど、平均土塊径が小さく、10 mm 以下の土塊の占有率も大きく、土壌がより細かく破碎されることがわかった。さらに、土壌の移動もロータリ回転数の速いものほど、その移動量が大きく、土壌がより遠くまで動かされることがわかった。
3. なた爪を用いて、トラクタ前進速度が一定の場合のロータリ回転数の変化によるチゼルの心土破碎抵抗ならびにロータリのロータリ破碎トルクを計測した。その結果、チゼルの心土破碎抵抗は、チゼルの破碎深さに対し直線状の増加傾向を示し、ロータリ回転数の増加に対し、僅かであるが増加した。
4. ロータリ破碎トルクはロータリ破碎深さに対し、増加傾向を示した。また、ロータリ回転数の増加にともない、ロータリ破碎ピッチが減少するので、ロータリ破碎トルクは僅かに減少した。ロータリ破碎深さ一定時のロータリ破碎ピッチとロータリ破碎トルクとの関係は、下に凸の 2 次曲線状の傾向を示した。

5. ロータリ破碎動力はロータリ破碎トルクにロータリ回転数を乗じたものであるので、その傾向は、ロータリ破碎トルクと同じになる。ただし、ロータリ回転数の増加分だけ、線図間の間が広がった。また、当然のことながら、ロータリ回転数の上昇にともないロータリ破碎動力は、増加した。ロータリ破碎深さ一定時のロータリ破碎ピッチとロータリ破碎動力との関係は、双曲線状の減少傾向を示した。
6. ロータリ破碎比トルクやロータリ破碎比仕事は、ロータリ破碎深さに対し減少傾向を示した。これは、従来のロータリ作用深さが浅い時の結果とほぼ同じ傾向を示している。
7. 試作チゼル付きロータリ心土破碎機全体の所要動力は、チゼルの破碎動力がロータリ破碎動力に比べ約  $1/20$  であるので、ロータリ破碎動力の傾向とほとんど同じになった。試作機の所要動力算出やトラクタ選定のために、チゼルの破碎動力を重要視する必要はないが、トラクタ進行低下率にチゼルの心土破碎抵抗が大きな影響を与えるので重要である。
8. チゼルの心土破碎抵抗に対するロータリ破碎爪の影響を検討するため、チゼル付きロータリ心土破碎機になた爪と直刀爪を装着し、ロータリ回転数とチゼルの破碎深さを変えた時のチゼルの心土破碎抵抗とチゼル単体を比較した。その結果、チゼル付きロータリ心土破碎機のチゼルの心土破碎抵抗は、チゼル単体より小さく、ロータリ破碎爪が、チゼルの心土破碎抵抗を軽減させて状況が推察された。また、その軽減効果は、直刀爪よりなた爪の方が大きかった。
9. チゼルの破碎深さの増加に対しトラクタ進行低下率は、増加する傾向にあったが、なた爪は直刀爪よりその増加率が小さく、なた爪がトラクタ進行を助けている状況が伺えた。これは、なた爪には屈曲部があって、これがロータリ破碎トルクの増加をもたらすが、心土破碎の反力としてトラクタを前進させる推進力を発生することを示している。
10. 試作チゼル付きロータリ心土破碎機全体の破碎断面積と試作機全体の心土破碎動力を検討したところ、チゼル付きロータリ心土破碎機は消費動力は多いけれど、チゼル単体より破碎断面積が大きいので、心土破碎の効果が著しいことがわかった。この場合、なた爪がトラクタを前進させる推進力を発生するので、直刀爪より望ましいとの知見が得られた。



11. チゼル無しロータリ心土破碎機の実験は、破碎深さ 0.1 m 以上深くすることができなかつたので、0.1 m 一定として、ロータリ回転数を変えて行った。その結果、チゼルは、ロータリ部にはあまり影響を与えていなかった。
12. ロータリ破碎爪は、トラクタの前進に寄与しており、屈曲部を持つた爪ほど大きく、しかもロータリ破碎ピッチの大きいものほど大きかった。
13. チゼル単体やロータリ単体など両機を単体で用いると破碎深さを深くできない等の不利が生じ、しかも心土破碎断面も小さくなる。よって、本試作チゼル付きロータリ心土破碎機のように、両者を組み合わせるとトラクタの回転エネルギーを心土破碎という有効なエネルギーに変換できるので、トラクタをより有効に利用することができる。
14. チゼルとロータリの配列位置によるチゼルの心土破碎抵抗ならびにロータリ破碎トルクについて検討した。その結果、チゼルの心土破碎抵抗は、チゼルとロータリの間を狭くするほど小さくなった。
15. ロータリ破碎トルクは、チゼルとロータリのチェーンケースに挟まれた位置に滞留している心土を排除しようとするため大きくなる傾向にあった。
16. チゼルの心土破碎抵抗とロータリ破碎トルクならびに全所要動力を考慮すれば、心土の流れが円滑な V 3 の位置が望ましく、V 3 H 3、V 3 H 2 が最適と考えられる。すなわち、チゼル先端とロータリ破碎軸回転中心との距離を 0.231 m とすることが良く、しかもロータリにできるだけ近づけることが好ましかった。
17. 試作チゼル付きロータリ心土破碎機で心土を破碎した効果を、ほ場におけるシリンダインテークレート試験により検討した。その結果、破碎深さの深いものほど給水後の積算浸入量が大きく、しかもその効果の持続も長かった。
18. 屈曲部のない直刀爪より屈曲部のあるなた爪の方が、心土を良く攪拌するため積算浸入量が大きかった。よって、積算浸入量を多くするために破碎深さをできるだけ深くし、屈曲部を持つた爪を装着したチゼル付きロータリ心土破碎機を用いるのが良いとの知見を得た。
19. また、試作チゼル付きロータリ心土破碎機の利用効果を検討するため、各種作業条件で心土を破碎し、ビール麦を栽培してその生育調査を行った。その結果、ビール麦の草丈や生体質量、乾燥質量についての調査において、無処理区や破碎深さの浅い実験区のものの生育は悪く、破碎深さの深い実

験区のものほど生育が良好であった。

20. 破碎深さの深いものやなた爪で心土を破碎した実験区のものでは、心土を破碎した直上の植物の生育が良好であった。また、収量構成図を作成したところ、登熟歩合、1000 粒重以外の項目では、やはり心土の破碎を行った実験区のものが、行なわなかった実験区のものより良かった。また、チゼル単体で心土を破碎した実験区より、チゼル付きロータリ心土破碎機で心土を破碎したものの方の収量構成が良好であった。したがって、収量を多くするためには破碎深さはできるだけ深くし、しかも屈曲部を持つた爪を装着したチゼル付きロータリ心土破碎機を用いるが良いとの知見を得た。

以上の結果より、チゼル単体の心土破碎作業において、空費されていたトラクタの動力を、有効な動力に変え、同じく心土と表土を破碎することができる本チゼル付きロータリ心土破碎機は、有用であるとの知見を示すことができたものと考ええる。また、土壌の排水性や植物の生育試験より心土を大きく攪拌するなた爪を用いて、できるだけ深く心土を破碎することが良いとの知見を得た。



# 参 考 文 献

- 1)長崎 明・三熊政昭・高橋伸寿：大型トラクタの踏圧が畑土壌の物理性と作物の生育におよぼす影響，土壌の物理性 9号，38-46，1963
- 2)川延謹造・市瀬猛文・森田 勇：トラクタ車輪による踏圧が作物の生育に及ぼす影響，農業及び園芸 第38巻第11号，75-46，1963
- 3)西谷国宏：車輪踏圧が畑土壌の物理性および作物の生育におよぼす影響，農機誌 28-1，39-43，1966
- 4)鎌田嘉孝：大型機械による踏圧と畑作物の生育，土壌の物理性 14号，4-9，1966
- 5)石井和夫・徳永美治：土壌圧縮に及ぼすトラクタ走行の影響（第1報），日本土壌肥料科学雑誌，第38巻10号；366-372
- 6)中江克巳：作物生育からみたほ場排水効果の調査法，農業機械学会第39回講演要旨，203-204，1980
- 7)佐藤清美：水田利用再編に伴うほ場排水効果の調査法，農機誌 41-1，131-137，1979
- 8)小原勝蔵：営農排水機械化の現状，農機誌 41-1，171-172，1979
- 9)佐藤文彦：耕土改良機械，農機誌 42-4，623-627，1981
- 10)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－ロータリ耕盤破碎機について－農機学会関西支部報 44，34-35，1978
- 11)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－刃形と回転半径について－農機学会関西支部報 46，35-36，1979
- 12)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－異径直刀刃による実験－農機学会関西支部報 48，38-39，1980
- 13)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－刃配列について－農機学会関西支部報 50，66-67，1981
- 14)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－耕深について－農機学会関西支部報 50，68-69，1981
- 15)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－利用効果について－農機学会関西支部報 52，80-82，1982
- 16)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－チゼルとロータリの位置関係について－農機学会関西支部報 54，72-73，1983

- 17)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－刃形と作用深さについて－農機学会関西支部報 58，80-82，1984
- 18)小松 実，三竿善明他：耕盤の機械的破碎に関する研究－ロータリ破碎づめ4本装着時の実験－農機学会関西支部報 60，28-29，1986
- 19)常松栄ら：心土破碎機に関する研究（第1報），農機誌 21-2，45-49，1959
- 20)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第1報，農機誌 22-3，83-90，1960
- 21)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第3報，農機誌 24-2，53-55，1961
- 22)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第5報，農機誌 24-4，183-189，1960
- 23)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第7報，農機誌 25-1，22-26，1961
- 24)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第8報，農機誌 25-1，27-30，1961
- 25)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第9報，農機誌 25-2，83-86，1961
- 26)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第11報，農機誌 25-3，161-169，1961
- 27)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第12報，農機誌 25-3，170-174，1961
- 28)常松栄ら：心土破碎機の利用拡張に関する研究 第16報，農機誌 26-4，249-254，1962
- 29)守島正太郎，松尾昌樹：心土犁の形状作用に関する基礎研究 第1報，農機誌 26-2，84-88，1962
- 30)守島正太郎，松尾昌樹：心土犁の形状作用に関する基礎研究 第2報，農機誌 26-3，176-182，1962
- 31)木谷 収：各種耕耘装置比較のための基礎的研究 第1報，農機誌 24-3，107-113，1960
- 32)木谷 収：各種耕耘装置比較のための基礎的研究 第4報，農機誌 25-4，203-208，1962



- 33) 木谷 収: 各種耕耘装置比較のための基礎的研究 第5報, 農機誌 25-4, 209-213, 1962
- 34) 木谷 収: 各種耕耘装置比較のための基礎的研究 第6報, 農機誌 26-4, 213-217, 1963
- 35) 木谷 収: 各種耕耘装置比較のための基礎的研究 第8報, 農機誌 27-2, 98-104, 1963
- 36) 手塚右門, 遠藤俊三: 振動式心土破碎機に関する研究 第1報, 農機誌 24-1, 21-24, 1960
- 37) 手塚右門, 遠藤俊三: 振動式心土破碎機に関する研究 第2報, 農機誌 24-2, 49-52, 1960
- 38) 遠藤俊三: 振動式心土破碎機に関する研究 第3報, 農機誌 25-2, 76-82, 1961
- 39) 金 容煥, 川村 登: 平衡式振動弾丸暗渠せん孔機の研究, 農機誌 39-3, 299-304, 1977
- 40) Godwin, R. J. and G. Spoor: Soil failure with narrow tines. J. Agric. Eng. Res. 22(4), 213-228, 1977
- 41) Hettiaratchi, D. R. P. and A. R., Reece: Symmetrical three-dimensional soil failure. J. Terramech. 4(3), 45-67, 1967
- 42) Hettiaratchi, D. R. P., B. D. Witney and A. R., Reece: The calculation of passive pressure in two dimensional soil failure. J. Agric. Eng. Res. 22(4), 11(2), 89-107, 1966
- 43) McKyes, E. and O. S. Ali: The cutting of soil narrow blades. J. Terramech. 14(2), 43-58, 1977
- 44) Payne, P. C. : The relationship between the mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation implements. J. Agric. Eng. Res. 1(1), 23-50, 1956
- 45) Payne, P. C. and D. W. Tanner : The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. J. Agric. Eng. Res. 4(4), 312-325, 1959
- 46) Perumpral, J. V., R. D. Grisso, and C. S. Desai : A soil tool model based on limit equilibrium analysis. TRANSACTIONS of ASAE 26(4), 991-995, 1983

- 47) R. D. Grisso, Perumpral, J. V. : Review of models for predicting performance of narrow tillage tool. TRANSACTIONS of ASAE 28(4), 1062-1067, 1985
- 48) 芝野保徳: ロータリ耕うん刃とけん引切削刃との組み合わせ耕うんに関する研究 第1報, 農機誌 33-3, 245-250, 1971
- 49) 芝野保徳: ロータリ耕うん刃とけん引切削刃との組み合わせ耕うんに関する研究 第2報, 農機誌 33-4, 332-337, 1972
- 50) 芝野保徳: ロータリ耕うん刃とけん引切削刃との組み合わせ耕うんに関する研究 第3報, 農機誌 34-1, 28-33, 1973
- 51) 芝野保徳: ロータリ耕うん刃とけん引切削刃との組み合わせ耕うんに関する研究 第5報, 農機誌 35-2, 157-162, 1974
- 52) 三竿善明: チゼル形サブソイラ付きロータリ心土破碎機の研究 (第1報), 農作業研究 24-3, 243-251, 1989
- 53) 三竿善明: 心土の機械的破碎に関する研究 (第1報), 農機誌 53-2, 41-51, 1991
- 54) 三竿善明: 心土の機械的破碎に関する研究 (第2報), 農機誌 54-1, 27-37, 1992
- 55) 三竿善明: 心土の機械的破碎に関する研究 (第3報), 農機誌 54-4, 39-47, 1992
- 56) 三竿善明: 心土の機械的破碎に関する研究 (第4報), 農機誌 (投稿中)
- 57) 三竿善明: チゼル形サブソイラ付きロータリ心土破碎機の研究 (第2報), 農作業研究 25-1, 2-12, 1990
- 58) 三竿善明: チゼル形サブソイラ付きロータリ心土破碎機の研究 (第3報), 農作業研究 25-3, 213-220, 1990
- 59) 川村 登他: 農作業機械学, 文永堂, 70, 1980
- 60) 土壤物理性測定法委員会編(1972), 土壤物理性測定法, p98, 養賢堂
- 61) 梅田重夫: ロータリ式耕耘爪の耕耘作用の研究 第3報, 農機誌 20-2, 55-59, 1958
- 62) 園村光雄, 松尾昌樹: ロータリ耕耘の諸特性に関する研究 (第1・2報), 農機誌 19-3, 101-104, 1957
- 63) Bernacki, H.: Theory of the rotary, Inst. of Mech. and Elect. of Agric., No. 2, 9-64, 1962



- 64)土屋功位, 穂波信夫:ロータリ式の耕耘動力軽減に関する研究 第1報,  
農機誌 24-4, 207-214, 1963
- 65)土屋功位, 穂波信夫:ロータリ式の耕耘動力軽減に関する研究 第2報,  
農機誌 25-3, 155-160, 1963
- 66)増田正三, 梅田重夫:トラクタのけん引性能に関する研究 第2報,  
農機誌 25-3, 150-154, 1963
- 67)土屋功位:ロータリ式の耕うん特性に関する研究, 農機誌 29-2, 70-72,  
1967
- 68)Bernacki, H.:Bodenbearbeitungsgerate und -Maschinen, VER Ver-lang  
Technik, Berlin, 66-114, 1967
- 69)William R. Gill:Soil Dynamics in Tillage and Traction,  
Agricultural Research service, 117-210, 1968
- 70)James G. Hendrick and William R. Gill:Rotary-tiller Design  
Parameters Part I ,Transaction of the ASAE, 669-674, 1971
- 71)James G. Hendrick and William R. Gill:Rotary-tiller Design  
Parameters Part II ,Transaction of the ASAE, 675-678, 1971
- 72)James G. Hendrick and William R. Gill:Rotary-tiller Design  
Parameters Part III ,Transaction of the ASAE, 23-50, 1956
- 73)James G. Hendrick and William R. Gill:Rotary-tiller Design  
Parameters Part IV ,Transaction of the ASAE, 4- 7, 1974
- 74)長広仁蔵:ロータリトラクタの基本設計理論の研究, 農機産業調査研究所,  
8-58, 1970
- 75)岡本嗣男, 川村登:ロータリ耕うん部のトルク制御(第3報),  
農機誌 30-3, 159-163, 1968
- 76)柴田安雄, 坂井純:ロータリ耕なた刃の耕うん抵抗特性, 農機誌 39-4,  
417-457, 1978
- 77)坂井純, 柴田安雄:トラクタ用ロータリ耕なた刃の配列設計理論,  
農機誌 40-1, 29-40, 1979
- 78)藤浦建史, 川村登:ロータリ耕うんトラクタ自動制御, 第1報,  
農機誌 39-4, 439-445, 1978
- 79)藤浦建史, 川村登:ロータリ耕うんトラクタ自動制御, 第2報,  
農機誌 41-3, 397-403, 1979

- 80)藤浦建史, 川村登:ロータリ耕うんトラクタ自動制御, 第3報,  
農機誌 42-2, 203-209, 1980
- 81)渋沢栄, 川村登:深耕ロータリ耕うんに関する基礎的研究(第3報),  
農機誌 44-1, 9-16, 1982
- 82)小松 実:ロータリ耕うん機における整地耕うん 第1報  
農機誌 32-1, 23-27, 1970
- 83)小松 実:ロータリ耕うん機における整地耕うん 第2報  
農機誌 34-1, 19-27, 1972
- 84)小松 実:ロータリ耕うん機における整地耕うん 第3報  
農機誌 34-4, 334-343, 1973
- 85)石黒真木夫:情報量基準, 統計手法アラカルト, BASIC数学12月号別冊,  
現代数学社, 84-89, 1979
- 86)農業土木学会編(1969), 農業土木ハンドブック改訂三版, 丸善, 125
- 87)山崎不二夫, 長谷川新一編:畑地かんがい, 農山漁村文化協会, 30-43